

MIG-ANTURI

Kemppi Oy

Tiivistelmä

Tekijä(t) Tammela, Ville	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK Sivumäärä 30	Valmistumisaika Kevät 2019
Työn nimi MIG-Anturi Kemppi Oy		
Tutkinto Kone- ja tuotantotekniikan insinööri (AMK)		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella MIG/MAG-hitsausprosessista hitsausdaataa keräävä anturi Kemppi Oy:n tuotekehityksen käyttöön. Kempillä on mitattu anturilla mitattavia asioita aiemmin staattisessa tilanteessa irti hitsauksesta, mutta todellista lisäarvoa saadaan, kun mittaus päästäisiin suorittamaan hitsauksen aikana.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosassa käydään läpi, mitä MIG/MAG-hitsaus teoriassa on ja mitä eri osakokonaisuuksia hitsausjärjestelmä käsittää. Teoriaosassa tuodaan esiin myös hitsauksen onnistumisen kannalta tärkeitä tekijöitä.</p> <p>Opinnäytetyön suunnitteluosiossa käydään läpi tehtävänantoa sekä anturin suunnittelun kannalta oleellisia asioita. Osiossa tutustutaan erilaisiin mittausantureihin ja niiden käyttömahdollisuuden sovelluksessa sekä avataan erityyppisiä mittausmenetelmiä ja näiden hyviä sekä huonoja puolia.</p>		
Asiasanat MIG/MAG-hitsaus, Hitsaus, Anturi, MIG-Anturi		

Abstract

Author(s) Tammela Ville	Type of publication Bachelor's thesis	Published Spring 2019
	Number of pages 30	
Title of publication MIG-sensor Kemppi Oy		
Name of Degree Bachelor of Engineering, Mechatronics		
Abstract <p>The purpose of this thesis was to design a sensor for collecting welding data from the MIG/MAG welding process. The sensor is intended to be used by Kemppi product development department. Kemppi has measured the sensor-measured quantities in the past in a static situation from welding, but the real added value is obtained when the measurements are done during welding.</p> <p>The theoretical part of the thesis examines what MIG/MAG welding is in theory and what different parts the welding system consists of. The theory section also highlights the factors that are important for the success of welding.</p> <p>The practical part of the thesis reviews the assignment and issues that are relevant in sensor design. The section introduces various measurement sensors and their use in this application, as well as different types of measurement methods with their advantages and disadvantages.</p>		
Keywords MIG/MAG-welding, Welding, Sensor, MIG-sensor		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TYÖN TAVOITTEET	2
3	HITSAUS	3
3.1	MIG/MAG-hitsaus	3
3.2	Hitsauksen määrittely	4
3.3	Hitsauksen historiaa	4
3.4	MIG/MAG-virtalähde	4
3.5	MIG/MAG-langansyöttölaite	7
3.6	MIG/MAG-vesilaite	9
3.7	MIG/MAG-suojakaasulaitteisto	9
3.8	MIG/MAG-hitsauspistooli	10
4	HITSAUSANTURIN RAKENTAMINEN	13
4.1	MIG/MAG-laitteiston testaus	13
4.2	Nykyinen mittaus	14
4.3	Anturin rakenteen suunnittelu	14
4.4	Sähkövirran mittaus	15
4.5	Jännitteen mittaus	16
4.6	Veden virtaus, lämpötila ja paine	17
4.7	Kaasun virtaus ja paine	26
4.8	Äänenpaine	26
4.9	Datan talliointi labview:illä	28
5	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET	32

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään tiedonkeruuanturin suunnittelua ja hyödyntämistä MIG/MAG-hitsausprosessin datankeräyksessä. Opinnäytetyö on rajattu MIG/MAG-hitsauksen datankeruuseen. Anturi suunnitellaan ja valmistetaan Kemppi Oy:n tuotekehityksen tarpeisiin. Kemppi Oy on perustettu vuonna 1949, ja se työllistää yli 600 työntekijää. Kemppi on perheyrittys, jonka liikevaihto on noin 125 MEUR. (Kemppi Oy 2019.)

Kemppi Oy:n tuotekehityskäytössä on jo olemassa oleva mittaus- ja testausmenetelmä, jota on tarkoitus laajentaa. Uuden mittausmenetelmän on tarkoitus tulla nykyisen mittausmenetelmän lisäksi, jotta koehitsauksista saataisiin enemmän tietoa. Uuden hitsausanturin on siis tarkoitus auttaa keräämään hitsauksen aikana enemmän dataa, kuin mitä tähän mennessä ja nykyisellä menetelmällä on saatu kerättyä.

Opinnäytetyössä hitsausdatan keräysanturista käytetään nimitystä hitsausanturi, vaikka todellisuudessa hitsausdatan keräysanturi on paketti useita erilaisia ja eri asioita mittaavia valmiita kaupallisia antureita.

Anturin tavoitteena on tehostaa Kemppi Oy:n tuotekehityksen toimintaa ja etenkin hitsauspolttimien koehitsauksia. Hitsausanturin suunnittelussa tärkeänä lähtökohtana on helppokäyttöisyys sekä mahdollisten lisämittausten järkevä liitettävyyys.

2 TYÖN TAVOITTEET

MIG-prosessissa virtalähde ohjaa langansyöttölaitetta ja siitä lanka ohjataan useimmissa tapauksissa euroliittimen kautta hitsauspistoolille. Lankalinja olisi ideaalitapauksessa jäykkä putki, jolloin langansyöttölaitteen anturointi langan nopeudesta, kaaren jännitteestä sekä virrasta mitattavista suureista toteutuisi tarkasti. Todellisuudessa hitsarilla täytyy olla ergonominen, mahdollisimman joustava ja kevyt letkupaketti. Hitsaukseen liittyy monta tekijää, joita Kempillä on mitattu staattisessa tilanteessa irti hitsauksesta, mutta todellista lisäarvoa saataisiin, kun päästäisiin käsiksi näihin ilmiöihin hitsauksen aikana.

Edellä mainitusta syystä kehitetään laboratoriokäyttöön tarkoitettua MIG-anturia, joka pystytään sijoittamaan langansyöttölaitteen sekä MIG-pistoolin väliin haittaamatta lankalinjaa, vesilinjaa tai kaasulinjaa. Työn tavoitteeksi asetettiin hitsausanturin suunnitteluvaiheen valmistuminen vuoden 2019 kevään aika.

Hitsausanturin tulee kyetä mittaamaan hitsauksen aika hitsausjännitettä, hitsausvirtaa, jännitehäviötä polttimen matkalla, jäähdytysveden virtausta ja -painetta, kaasun virtausta ja -painetta sekä ääntä, esimerkiksi desibeleinä. Mittauksista kerätty tieto on taltioitava tietokoneelle, sekä mittaustulosten on oltava keskenään vertailukelpoisia.

3 HITSAUS

3.1 MIG/MAG-hitsaus

Opinnäytetyön hitsausta käsittelevässä osassa avaan sitä, mitä termillä hitsaus yleisesti tarkoitetaan ja mihin se tässä yhteydessä rajataan. Koska hitsaus on käsitteenä laaja ja sisältää useita erilaisia menetelmiä, rajataan se tässä opinnäytetyössä koskemaan vain metallikaasukaarihitsausta ja tarkemmin MIG/MAG-hitsausta.

MIG/MAG-hitsaus eli metallikaasukaarihitsaus on kaasukaarihitsausprosessi, jossa virran avulla saatu valokaari palaa hitsauslangan ja työkappaleen välissä suojakaasun ympäröimänä. MIG/MAG-hitsauslaitteiston (kuva 1) pääosia ovat virtalähde, langansyöttölaite, hitsauspoltin sekä suojakaasulaitteisto. Hitsattaessa MIG/MAG-laitteistolla valokaari aiheuttaa perusaineen ja lisäainelangan sulamisen, jolloin lisäaine siirtyy pieninä pisaroina hitsattavaan kappaleeseen. (ESAB 2019a.)



Kuva 1. MIG/MAG-hitsauslaitteisto. (Kemppi 2019.)

Termit MIG ja MAG ovat lyhenteitä englanninkielisistä sanoista Metal-arc Inert Gas welding ja Metal-arc Active Gas welding. Erona näissä kahdessa menetelmässä on suojakaasu. Se voi olla joko inertti (Inert) tai aktiivinen (Active). Inertti-kaasu ei nimensä mukaisesti reagoi hitsaustapahtumaan, vaan sen tarkoitus on vain suojata sulaa metallia epäpuhtauksilta. Tällaisia kaasuja ovat esimerkiksi argon ja helium. (ESAB 2019a.)

Aktiivinen kaasu taas reagoi sulassa metallissa olevien aineiden kanssa. Tällaisia kaasuja ovat esimerkiksi puhdas hiilidioksidi tai argonin ja hiilidioksidin seoskaasu 75% AR +

25% CO₂. Usein termeistä MIG- ja MAG-hitsaus käytetään kuitenkin vain yhtä yleisnimitystä MIG-hitsaus. (ESAB 2019a.)

MIG-hitsausta käytetään tavallisimmin ei-rautametallien, kuten alumiinin, titaanin ja kuparin, hitsaukseen. MAG-hitsausta taas käytetään terästen hitsaamiseen. Näin ollen usein yleiskielellä puhuttaessa MIG-hitsauksesta puhutaankin todellisuudessa MAG-hitsauksesta. (ESAB 2019a.)

3.2 Hitsauksen määrittely

Hitsaus terminä on määritelty SFS 3052 (Hitsaussanasto, Yleistermi) standardin mukaan seuraavasti: (ESAB 2019b.)

Hitsaus on osien liittämistä toisiinsa käyttämällä hyväksi lämpöä ja/tai puristusta siten, että osat muodostavat jatkuvan yhteyden. Hitsauksessa voidaan käyttää lisäainetta, jonka sulamispiste on suunnilleen sama kuin perusaineen sulamispiste.

Kuten yllä olevasta tekstistä selviää, hitsauksessa on tarkoitus liittää kaksi osaa toisiinsa. MIG/MAG-hitsauksessa liitettävät kappaleet ovat metallia ja liitos tehdään lämpöä hyväksikäyttämällä sekä lisäainetta lisäämällä. Lämpö saadaan aikaan valokaaren avulla, joka muodostuu lisäainelangan ja hitsattavan tai hitsattavien kappaleiden väliin.

3.3 Hitsauksen historiaa

Hitsauksen historia ulottuu vuosituhansien päähän. Ensimmäiset versiot hitsaamisesta tapahtuivat ahjon lämpöä sekä vasaran mekaanista energiaa hyväksi käyttämällä. 1800-luvulla hitsausmenetelmäksi kehkeytyi kaasuhitsaus. Hapen sekä kaasun seoksesta saatiin aikaiseksi hyvin keskitetty sekä hallittavuudeltaan hyvä hitsausliekki. 1870-luvulla hitsaus alkoi kääntyä nykysuuntaansa, kun E. Thomson oivalsi vastushitsauksen periaatteen. Vuonna 1881 Nikolai Benardos esitteli hiilikaaritaltauksen, joka on tiedettävästi ensimmäinen kaarihitsausmenetelmä. (Mäkimaa 2019.)

Nykymuotoisen hitsauksen tärkein energianlähde on edelleen sähkö. Osittain tämä johtuu sähköön helposta saatavuudesta, mutta myös helposta muunneltavuudesta, esimerkkeinä muun muassa valokaari sekä laser. (Mäkimaa 2019.)

3.4 MIG/MAG-virtalähde

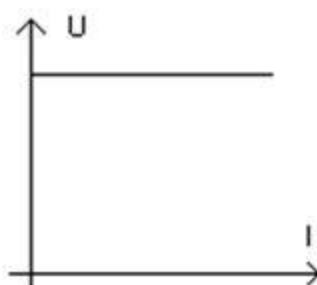
MIG/MAG-hitsauslaitteistossa virtalähteen (kuva 2) tehtävä on muuntaa sähkö hitsaukseen sopivaksi. Sähköverkon sähkö ei sellaisenaan sovi hitsaukseen, johtuen sekä fyysisistä että turvallisuusnäkökohdista. Hitsauksessa käytettävät jännitteet ovat

tavallisesti joitakin kymmeniä voltteja tasavirtaa, kun taas sähköverkosta saatava sähkö muutaman sadan voltin luokkaa vaihtovirtaa. Tämä luo hitsauslaitteistossa tarpeen virtalähteelle. (Mäkimmä 2019.)



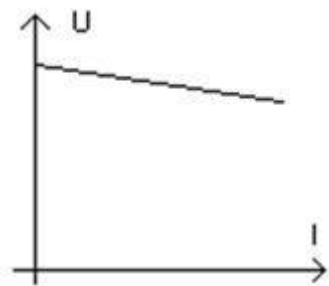
Kuva 2. Hitsausvirtalähde. (Kemppi 2019.)

MIG/MAG-hitsauslaitteistossa käytetään muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta vakiojännitelähdettä. Vakiojännitelähde pyrkii pitämään nimensä mukaisesti jännitteen vakiona kuormavirrasta riippumatta (kuva 3). (Mäkimmä 2019.)



Kuva 3. Vakiojännite. (Mäkimmä 2019.)

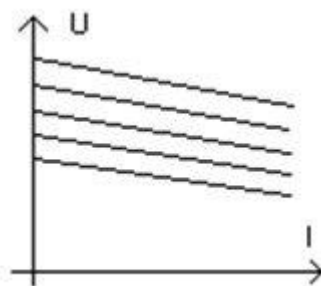
Todellisuudessa tämänkaltaista ideaalista virtalähdettä ei kuitenkaan ole olemassa. Yleisimmin käytössä olevan MIG/MAG-virtalähdetyypin ominaiskäyrä on esitetty kuvassa 4. Se ei kuitenkaan ole vakiojännitteinen, vaan hieman laskeva. (Mäkimmä 2019.)



Kuva 4. MIG/MAG-virtalähteen ominaiskäyrä. (Mäkimaa 2019.)

Hitsauslaitestandardit kuitenkin määrittävät, että kaikkia virtalähteitä, joiden ominaiskäyrä laskee enintään 7V/100A, pidetään vakiojännitelähteinä. Käytännön laitteissa jännite laskee yleensä 2-6V/100A. (Mäkimaa 2019.)

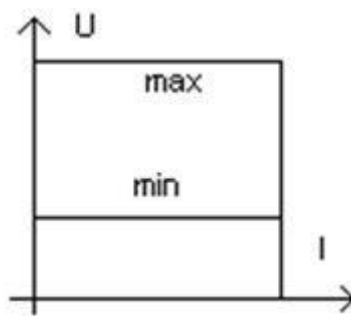
Kuvassa 4 kuvattu ominaiskäyrä ei kuitenkaan ole kovin käytännöllinen, sillä siinä ei ole minkäänlaista säädettävyyttä. Näin ollen käytännönlaitteissa on käytössä ominaiskäyräparvi (kuva 5). (Mäkimaa 2019.)



Kuva 5. MIG/MAG-ominaiskäyrä parvi. (Mäkimaa 2019.)

Tällaisessa MIG/MAG-hitsauslaitteessa voidaan valita haluttu käyrä hitsauskoneessa olevasta säätimestä. Tällaisia koneita ovat nykyään niin sanotut vanhat MIG/MAG-hitsauskoneet, joissa verkkojännitteen muuntamiseen käytettiin tasasuuntaaja. (Mäkimaa 2019.)

Nykyisin verkkojännitteen muuntamiseen käytetään elektronisesti ohjattua MIG/MAG-virtalähdettä. Nämä poikkeavat tasasuuntauksesta siten, että jännitettä pystytään säätämään portaattomasti minimiarvon ja maksimiarvon välillä. Lisäksi jännite pystytään pitämään vakiona normaalilla käyttöalueella, kuten kuvassa 6 on esitetty. (Mäkimaa 2019.)



Kuva 6. Elektronisesti ohjattu MIG/MAG-virtalähde. (Mäkimaa 2019.)

Vanhemmat MIG/MAG-hitsauskoneet olivat ns. ”muuntaja”-koneita, eli virtalähteenä oli tassauntaaja. Nykyaikaisissa hitsauslaitteistoissa verkkosähkö muunnetaan invertteri-tekniologiaa hyödyntäen. MIG/MAG- virtalähteestä säädetään langansyöttönopeuden lisäksi jännitettä. Hitsausvirtaa ei tarvitse säätää, vaan se säätyy lisäainelangan nopeuden mukaan automaattisesti. (Lukkari 2002.)

3.5 MIG/MAG-langansyöttölaite

MIG/MAG-hitsauksen onnistumisen kannalta yksi tärkeimpiä tekijöitä on lisäainelangan esteetön kulku. Langansyöttölaitteiston tehtävänä on saada lisäainelanka kulkemaan tsaaisesti hitsauspistoolin päähän, jossa lanka menee virtasuuttimen läpi ja valokaaren aiheuttama lämpö sulattaa langan. MIG/MAG-hitsauksessa tasainen syöttönopeus on perusedellytyksenä hitsin onnistumisen kannalta. Hitsattaessa pistoolia pyritään kuljettamaan vakionopeudella, ja mikäli langansyötössä on katkoksia, näkyy se heti hitsausaumassa. Tästä syystä langansyötön tulisi tapahtua säädetyllä vakionopeudella. Pienimmissä MIG/MAG-hitsauskoneissa (kuva 7) langansyöttölaite on yleensä rakennettu virtalähteen kanssa samaan pakettiin, mutta isommissa/tehokkaammassa koneissa langansyöttölaite ja virtalähde ovat omia laitteitaan, jotka yleisesti sijoitetaan päällekkäin. (Lukkari 2002.)



Kuva 7. Kompakti hitsauslaitteisto. (Kemppi 2019.)

Langansyöttölaitteisto (kuva 8) koostuu lisäainelankakelan kannattimesta, kelajarrusta, langansyöttömoottorista sekä langansyöttöpyörästä. Lisäainelankakelan kannatin on laakeroitu napa, jonka tehtävänä on mahdollistaa lankakelan esteetön pyöriminen. Kannattimeen tarvitaan kuitenkin myös kelajarru, koska tyypillisesti täysi lisäainelankakela painaa 15-20 kg, joten kun hitsaus lopetetaan, estetään kelajarrulla lankakelan hitausvoiman aiheuttaman pyörimisen jatkuminen. Pahimmillaan kelajarrun puuttuminen aiheuttaisi hitsauksen loppuessa kelan purkautumisen langansyöttölaitteen sisään. (Lukkari 2002.)



Kuva 8. Erillinen langansyöttölaite (Kemppi 2019.)

Langansyöttömoottorin tehtävänä on syöttää lankaa hallitusti kohti hitsauspistoolia. Langansyöttömoottoareiden nopeutta pystytään säätämään portaattomasti. Langansyöttömoottorin pitää pystyä syöttämään lankaa tasaisesti myös kuorman lisääntyessä, joten moottorit ovat yleensä vaihteistolla välitettyjä. Tasainen langansyöttönopeus on tärkeä muun muassa valokaaren itsesäätävyyden vuoksi. (Lukkari 2002.)

Langansyöttölaitteistossa moottorin akseli ei kuitenkaan koske suoraan lankaan, vaan välissä on langansyöttöpyörästä. Langansyöttöpyörästä pystytään vaihtamaan erilaisia syöttöpyöriä erilaisiin tarkoituksiin. Syöttöpyörien valintaan vaikuttaa hitsauslangan halkaisija sekä materiaali. Yleisesti alumiineille käytetään profiililtaan U:n muotoista uraa, kun taas teräslangoille ura on V:n muotoinen. Syöttölaitteistossa pystytään vaikuttamaan myös langansyöttöpyörien puristuspaineseen. Puristusaine pitää kulloinkin valita tilanteeseen sopivaksi. Liian kova puristusaine voi aiheuttaa lisäainelangan vahingoittumista sekä muovaantumista, joka osaltaan aiheuttaa takertelua hitsauspistoolissa. (Lukkari 2002.)

Langansyöttöjärjestelmiä on kolmea erilaista tyyppiä. Yleisin on työntävä langansyöttö, jossa langansyöttömoottori on välittömästi lisäainelankakelan edessä ja syöttää lankaa hitsauspistooliin. Tällaisessa järjestelmässä hitsauspistoolin pituudet rajoittuvat kuitenkin yleensä jo noin viiteen metriin ja alumiinisilla langoilla vain kolmeen metriin, pidemmillä letkun pituuksilla alkaa jo ilmetä häiriöitä. Tällöin hitsauspistoolin väliin voidaan asettaa välisyöttöjärjestelmä. Tällaisessa järjestelmässä syöttölaitteen ja hitsauspistoolin väliin sijoitetaan välisyöttölaite. Välisyöttöjärjestelmän avulla saavutetaan suuri, jopa 50 metrin hitsausulottuvuus ilman virtalähteen siirtelyä. Varsinkin pehmeille alumiinilisäainelangoille käytetään usein työntävä - vetävä langansyöttöjärjestelmää, jossa langansyöttölaite työntää lankaa ja pistoolissa on lisäksi toinen langansyöttömoottori, joka vetää lankaa. (Lukkari 2002.)

3.6 MIG/MAG-vesilaite

Hitsauslaitteistoon voidaan lisätä vesilaite (kuva 9). Vesilaitteen tehtävänä on jäähdyttää hitsauspoltinta ja näin ollen parantaa hitsausjärjestelmän käyttösuhdetta. Vesilaite koostuu pääosin jäähdytysvettä hitsauspistooliin kierrättävästä kiertopumpusta, vesisäiliöstä sekä jäähdyttimestä. Vesilaite on hitsauslaitteistossa käyttösuhdetta parantava lisävaruste, se ei siis ole välttämätön hitsauslaitteiston toiminnalle.



Kuva 9. Vesilaite. (Kemppi 2019.)

3.7 MIG/MAG-suojakaasulaitteisto

Suojakaasulaitteiston tehtävä on johdattaa suojakaasua joko kaasupullosta tai kaasuverkosta hitsauspolttimen kautta kaasusuuttimelle hitsaustapahtuman suojaksi.

Kaasupullossa tai kaasuverkossa täytyy olla paineenalennusventtiili, jolla paine lasketaan valmiiksi hitsauskoneeseen sopivaksi, noin 4-6 bar:n paineeksi. Lisäksi väliin kaasupullon tai -verkon väliin tarvitaan vielä vakiovirtausmittari, jolla saadaan kaasuvirtaus säädettyä kulloinkin hitsattavana olevaan kohteeseen sopivaksi. (Lukkari 2002.)

3.8 MIG/MAG-hitsauspistooli

MIG/MAG-hitsauksessa hitsauspistooli (kuva 10) on laite, jonka kautta aiemmin mainitut lisäainelanka, sähkövirta, suojakaasu sekä mahdollinen jäähdytysvesi johdetaan pistoolin päähän sekä itse hitsaustapahtumaan. Hitsauspistoolin päässä on kosketussuutin, jonka läpi sähkövirta johdetaan lisäainelankaan. Tämän seurauksena lisäainelangan ja hitsattavan kappaleen väliin syntyy valokaari. Kosketussuuttimen ympärillä on kaasusuutin, jonka läpi johdetaan kaasua suojamaan kosketussuutinta, lisäainelangan päätä, valokaarta sekä hitsisulaa. (Lukkari 2002.)

Hitsauspistoolista käytetään joskus myös nimitystä hitsauspoltin tai poltin. Hitsauspistooli on kuitenkin SFS 3054 standardin mukainen nimitys seuraavanlaisella määritelmällä: (Lukkari 2002.)

Käsinhitsauksessa käytettäväksi laitteeksi, jossa on yhdistettynä elektrodipidin tai ohjain hitsausvirran johtamiseksi hitsauslankaa ja suojakaasun johtamiseksi kaareen ja hitsauskohtaan.

Usein kuitenkin hitsauspistooliin on liitetty monitoimijohto kiinteästi, joten hitsauspistoolilla tarkoitetaan myös tätä kokonaisuutta.



Kuva 10. Hitsauspistooli. (Kemppi 2019.)

Hitsauspistooli on lisäainelangan syöttöketjun viimeinen osa. Langansyötössä ilmenevistä ongelmista suurin osa syntyykin juuri pistoolissa, ei niinkään langansyöttölaitteessa. Langansyötön kannalta on tärkeää pitää hitsauspistooli puhtaana sekä kunnossa. Hitsauspistoolin letkupaketin sisällä kulkeva lisäainelangan johdin, sekä hitsausroiskeista tukkeutunut virta- tai kaasusuutin ovat yleisimpiä ongelmia lisäainelangan kulkemisen vaikeuksiin. (Lukkari 2002.)

Hitsauspistooleja on lukuisia erilaisia malleja johtuen useista eri laitevalmistajista sekä käyttökohteista. Toimintaperiaatteeltaan lähes kaikki pistoolit ovat kuitenkin samanlaisia. Hitsauspistoolissa on liipaisin, jota painamalla ohjausvirtapiiri kytkeytyy ja käynnistää samanaikaisesti langansyöttölaitteiston, suojakaasun sekä hitsausvirran. Hitsauspistoolissa voi olla varusteina myös erilaisia säätimiä. Yhdellä tehosäätimellä eli synergiasäätimellä voidaan jännitettä sekä langansyöttöä säätää samanaikaisesti. Kahden säätimen avulla voidaan taas säätää erikseen jännitettä sekä langansyöttöä ja hitsausvirtaa. (Lukkari 2002.)

Hitsatessa usein koko hitsauslaitteiston toiminta konkretisoituu hitsauspolttimeen. Hitsaajan näkökulmasta polttimella on suuri vaikutus. Polttimen tulisi olla samaan aikaan kevyt sekä hyvin ergonomisesti muotoiltu. Toisaalta myös lisäainelangan tulisi kulkea hitsauspistoolin läpi ongelmitta. Usein hitsauspistooli on hitsausjärjestelmässä se osa, joka joutuu

kovimmalle fyysiselle rasitukselle. Hitsauspistooliin kohdistuu usein sekä mekaanista että lämpörasitusta. (Lukkari 2002.)

Mekaaninen rasitus on usein hitsauspistoolin väärinkäyttöä. Kun hitsauspistoolin lankalinja alkaa takertelemaan, on usein ensimmäinen keino kääntää langansyöttölaitteistosta syöttöpyöriä kireämmälle ja jos se ei auta, hakataan hitsauspistoolia hitsattavaan kappaaleeseen. Tosiasiassa ongelmat johtuvat yleensä lämmöstä ja siitä, että hitsauspistooli on likaantunut roiskeista tai lankalinjaan on joutunut metallipölyä.

Tällä hetkellä yksi suurimmista ongelmista hitsauspistoolien kanssa on lämpörasitus. Hitsatessa valokaaren lämpötila on noin 5000 °C – 6000 °C. Tämän takia on hankalaa löytää materiaaleja, jotka ovat kohtuuhintaisia ja kestävät kovaa lämpötilaa. Lisäksi materiaalin pitäisi olla sellaista, ettei hitsausroiskeet tarttuisi siihen. (ESAB 2019a.)

Lämpö muodostaa suuria ongelmia varsinkin hitsauspistooleissa, joissa ei ole vesijäähdytystä. Usein varsinkin kupariset kaasusuuttimet joutuvat niin kovalle lämpörasitukselle, että ne sulavat. Myös muut hitsauspistoolin kärjessä sijaitsevat, pääosin messinkiä, kuparia, lasikuitua tai muovia olevat osat lämpenevät niin paljon, että lopulta ne sulavat ja poltin rikkoutuu. Pahimmillaan hitsauspistooli voi jopa "sulaa" käyttö- sekä korjauskelvottomaan tilaan. (Lukkari 2002.)

4 HITS AUSANTURIN RAKENTAMINEN

4.1 MIG/MAG-laitteiston testaus

Tässä osiossa kuvaan opinnäytetyön aiheena olevan hitsausanturin suunnittelua sekä siinä huomioon otettavia asioita. Osiossa perehdytään lyhyesti erilaisiin antureihin sekä niiden toimintaan ja pohditaan, mikä anturi tai mittaussuunnitelma olisi sopivin tähän sovellukseen.

Hitsausanturilla on tarkoitus mitata avainsuureita hitsauksen aikana. Hitsaustapahtuma tapahtuu erikseen testihitsauksia varten valmistetulla ns. rumpu-hitsauslaitteella, jossa MIG/MAG-hitsauspistoolilla voidaan hitsata jopa tunteja yhdellä kertaa. Laite toimii siten, että hitsauspistooli kiinnitetään sitä varten tehtyyn telineeseen ja hitsauspistoolinpää osoittaa hitsattavaan rumpuun, joka pyörii halutulla vakionopeudella. Kun rumpu alkaa pyörimään ja saavuttaa yhden täyden kierroksen, siirtyy hitsauspistooli kulloinkin määritellyn hitsaussauman verran sivuttaissuunnassa ja jatkaa taas hitsausta täyden kierroksen.

Rumpuhitsauksessa pystytään määrittelemään kulloinkin hitsaukseen haluttava vapaalanganpituus sekä hitsauspistoolin kulma. Rummulla pystytään myös hitsaamaan joko työntävällä hitsausmenetelmällä tai vetävällä hitsausmenetelmällä.

Hitsauksen aikana hitsausanturilla on tarkoitus mitata hitsauspistoolia jäähdyttävän veden lämpötilaa sekä polttimeen mennessä että polttimelta tullessa. Jäähdytysveden menon sekä paluulämpötilatieto on tärkeä, sillä se kertoo esimerkiksi paljon hitsauskoneen vesilaitteen jäähdytystehosta sekä lämmönsiirtymisestä hitsauspistoolista jäähdytysveteen. Lisäksi jäähdytysvedestä on tarkoitus mitata sekä paine että virtaus. Näitä mittamalla saadaan selville esimerkiksi se, onko hitsauspistoolin jäähdytyslinja jostain syystä tukkoinen, miten paljon lämmin vesi aiheuttaa letkujen laajenemista ja miten helposti vesi pääsee virtaamaan esimerkiksi kaulaa jäähdyttävien osien läpi.

Anturilla on tarkoitus myös mitata suojakaasun virtaus sekä paine. Kaasuvirtauksen määrä on tärkeä, kun tehdään hitsauspistoolille osoitettuja tyyppikokeita. Tyyppikokeissa on määritetty kulloinkin hitsaukseen sopiva hitsauskaasun määrä. Suojakaasun paineen mittauksella saadaan selville, onko kaasulinja jostain syystä tukossa vai pääseekö kaasu virtaamaan vapaasti.

Hitsausanturilla mitataan myös hitsausvirtaa, -jännitettä sekä jännitehäviötä hitsauspistoolin matkalla. Hitsausvirta on yksi hitsauksen tärkeimpiä parametrejä. Hitsausvirran avulla säädetään ns. hitsauskoneen teho. Niinpä on tärkeä tietää, miten paljon virtaa on kulloinkin käytössä. Jännitettä ja jännitehäviötä hitsauspistoolin matkalla mitataan siksi, että

jännitehäviöstä selviää hyvin esimerkiksi hitsauspistoolissa olevien liitosten huono kontakti tai mahdollisesti alimittainen virtakaapeli.

Lisäksi hitsausanturilla on tarkoitus mitata myös äänen tasaisuutta. Tämän mittauksen tarkoitus on lähinnä vain saada jotenkin tallennettavaan muotoon ns. hitsauksen tasaisuus. Usein rumpuhitsauksissa kuulee, että hitsaus on hieman ”nykivää”, mutta se ei välttämättä näy tällä hetkellä mitattavissa suureissa mitenkään. Tästä syystä on hyvä mitata ääntä esimerkiksi desibeleinä, joista saadaan helposti taulukkomuotoon muutettavaa dataa.

Myöhemmin anturiin on tarkoitus lisätä vielä hitsauslangan voiman sekä -nopeuden mitaus, mutta koska se on aiheena laaja, sekä käytännössä kokonaan oma anturi, on se rajattu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

4.2 Nykyinen mittaus

Tällä hetkellä Kemppi Oy:llä ei ole olemassa olevaa mittausjärjestelyä, jolla kaikkia tässä opinnäytetyössä käsiteltäviä suureita saataisiin taltioitua hitsauksen aikana.

4.3 Anturin rakenteen suunnittelu

Hitsausanturin suunnittelun kannalta tärkeä lähtökohta oli, että anturin tulee olla helppokäyttöinen. Anturin tulee toimia sillä periaatteella, että se on hitsauspistoolin sekä langansyöttölaitteen välissä. Tämä tarkoittaa sitä, että anturi tulee pystyä kiinnittämään euroliittimellä langansyöttölaitteeseen ja hitsausanturissa on oltava vastaavanlainen liitin, johon saadaan kiinnitettyä hitsauspistooli. Myös hitsauspistooliin menevien jäähdytysvesiletkujen tulee kulkea hitsausanturin läpi, joten hitsausanturiin tarvitsee myös vesiletkuille liitännät sekä vesilaitteelta anturiin että anturilta polttimeen.

Toiminnaltaan hitsausanturi on yhteen koteloon kasattu paketti erilaisia mittausantureja. Tehtävänannosta tulee selville kaikki mitattavat suureet, joihin löytyy valmiita kaupallisia ratkaisuja. Tarkoitus on siis kasata näistä olemassa olevista antureista tähän sovellukseen toimiva yhdistelmä, mikä aiheuttaa mahdollisimman vähän häiriötä polttimen toimintaan. Tämän takia rakenteen tulee olla myös mahdollisimman kompakti. Käytännössä anturin fyysisen koon tulee kuitenkin määräämään eri suureita mittaavien anturien koko. Esimerkiksi vedenvirtausta mittaavat anturit ovat usein fyysiseltä kooltaan jo suhteellisen suuria.

Hitsausanturiin on myös myöhemmin tarkoitus lisätä lankavoiman sekä lankanopeuden mitaus, mutta se on aiheen laajuuden takia rajattu tästä opinnäytetyöstä pois.

4.4 Sähkövirran mittaus

Sähkövirta [I] on yksi sähköopin perussuureista. Sähkövirran yksikkö on A, ampeeri, joka määritellään seuraavasti: (Hautala & Peltonen 2014.)

Ampeerin määritelmä perustuu sähköjohtimien väliseen voimavaikutukseen. Jos kahden yhdensuuntaisen äärettömän pitkän, yhden metrin päässä toisistaan olevan ja saman suuruista virtaa kuljettavan johtimen välillä on $2 \cdot 10^{-7}$ N:n suuruinen voima yhtä metriä kohden, johtimissa kulkee yhden ampeerin suuruinen sähkövirta.

Insinöörin fysiikka kirjassa kerrotaan, että sähkövirta on varauksellisten hiukkasten liikettä. Jotta varautunut hiukkanen voi liikkua pisteestä toiseen, tarvitaan potentiaaliero. Potentiaaliero tunnetaan yleiskielessä jännitteenä. Kun kaksi erimerkkisesti varautunutta kappaletta yhdistetään toisiinsa esimerkiksi metallisella johtimella, alkavat elektronit kulkea sen läpi ja syntyy sähkövirta. Sähkövirta lakkaa kuitenkin, mikäli kappaleiden välinen varausero tasoittuu. Niinpä tarvitaan jokin keino, jolla potentiaalieroä pidetään yllä, kuten esimerkiksi akku tai paristo. (Hautala & Peltonen 2014.)

Hitsauskoneissa potentiaali eroa ja virran kulkua ylläpitävänä jännitelähteenä toimii virtalähde. Yleisesti ottaen sähkövirralla pyritään aina käyttämään jotakin laitetta, esimerkiksi sähkömoottoria. Sähkömoottorissa sähköenergiaa muutetaan pääosin liike-energiaksi, mutta yleensä ei toivottuna ilmiönä myös esimerkiksi lämmöksi. MIG-Hitsauksessa "laitteena" toimii valokaari, jossa energiaa muutetaan tarkoituksella lämmöksi, jotta itse hitsaus tapahtuma saadaan toteutettua. Kuten jo aiemmin tässä opinnäytetyössä on kerrottu, MIG-hitsauksessa materiaalien sulattaminen yhteen tapahtuu lämmöllä. Mitä paksumpaa materiaalia hitsataan, sitä suurempi virta tarvitaan. Esimerkiksi ohutta 1mm:n materiaalia hitsattaessa virtaa voi olla käytössä vain kymmeniä ampeereja. Kun taas siirrytään paksumpiin ainevahvuuksiin, esimerkiksi 30mm:n vahvuuteen, voidaan virtaa käyttää jo satoja ampeereja. Liian suurella virralla hitsattaessa materiaali kuumenee liian paljon, eikä hitsisulaa voida enää hallita. Nykyisissä hitsausvirtalähteissä maksimi virrat ovat noin 600 ampeeria. (Silvonen 2018.)

Kirchhoffin ensimmäisen lain, jota myös virtalaiksi kutsutaan, mukaan virtapiiristä virtaa ei katoa mihinkään. Näin ollen siis virta on koko virtapiirin matkalla sama, eikä ole väliä mistä kohdasta sitä mitataan. Hitsauskoneessa virtapiiri muodostuu hitsausvirtalähteestä lähtevästä polttimesta, hitsausvirtalähteeseen palaavasta maakaapelista ja niiden väliin syttyvästä valokaaresta. Silvonen kertoo kirjassaan, että virran mittaus on kytkettävä mitattavan piirin kanssa sarjaan, sillä mitattavan virran täytyy kulkea kokonaisuudessaan mittarin läpi. (Hautala & Peltonen 2014.)

Virran mittauksessa yleisesti käytetty menetelmä on virtashuntti eli ohitusvastus (kuva 11). Virtashuntin toiminta perustuu ohmin lakiin $U=RI$ ja siihen, että ohivirtavastuksen vastusarvo, eli resistanssi tunnetaan tarkasti ja näin ollen mitattaessa jännitettä vastuksen yli, saadaan tarkka virran määrä selville. Virran mittauksessa pyritään käyttämään mahdollisimman pientä vastusarvoa, teoriassa nollaa, jotta jännitehäviötä syntyy mahdollisimman vähän. Silvonen kertoo kirjassaan, että varsinkin suuria virtoja mitattaessa suurin osa virrasta ohjataan virtashuntin kautta. Virtashuntteja löytyy myös erittäin laajalle käyttöalueelle, sillä ne kykenevät muuntamaan virtaa aina milliampeereista tuhansiin ampeereihin asti. (Silvonen 2018.)



Kuva 11. Virtashuntti. (Kontram 2019.)

Virtashuntti on Kempillä yleisesti virranmittauksessa käytetty mittaussuunnitelma. Näin ollen virtashuntti on luonnollinen valinta myös tämän opinnäytetyön aiheena olevan hitsausanturin virranmittausmenetelmäksi. Virtashuntista saadaan ulos jänniteviesti, joka saadaan helposti talletettua ja luettua labview:iin. Lisäksi virtashuntti saadaan helposti sijoitettua esimerkiksi maakaapelin ja hitsausvirtalähteen liitoksen väliin.

4.5 Jännitteen mittaus

Jännitettä eli potentiaaliero U voidaan ajatella vesiletkun eri kohtien väliseksi korkeuseroksi. Jos halutaan saada vesi kulkemaan myös alhaalta ylöspäin, tarvitaan jokin ulkoinen voima, sähkötapauksessa joko jännite- tai virtalähde: jännite-/virtalähde vastaa letkun päiden välistä korkeuseroa. Jännite-/virtalähdettä voidaan ajatella eräänlaisena pumppuna, joka kykenee pumppaamaan tietyn määrän vettä sekunnissa alhaalta ylöspäin. Letku voidaan ajatella myös silmukaksi, jota ympäri kierrettäessä on yhtä paljon ylä- ja alamäkeä. Samoin myös virtapiirisilmukassa on jännitteen muutoksia sekä positiiviseen että negatiiviseen suuntaan yhtä paljon. Näin ollen jännite määräytyy ainoastaan päätepisteiden perusteella. (Silvonen 2018.)

Toisin kun virtaa mitattaessa, jännitettä mitataan aina niin, että mittaus on piirin kanssa rinnan. Lisäksi virtaa mitattaessa käytetään mahdollisimman pientä vastusarvoa, kun taas jännitettä mitattaessa vastusarvo on mahdollisimman suuri, käytännössä ääretön. Jännitemittarissa käytetään suurta vastusarvoa, koska ohminlain $U=RI$ mukaan mittarin suuri sisäinen vastus ottaa piiristä mahdollisimman pienen virran. (Silvonen 2018.)

Usein jännitettä mitataan yleismittarin avulla. Tässä opinnäytetyössä kuitenkin käytetään jännitteen mittaukseen differentiaali jänniteanturia, eli jännitteen mittaukseen tarkoitettua mittapäätä. Jännitteen mittaustanturi on laite, jolla kytetään mittamaan suuriakin jännitteitä niin, että ulostuleva jänniteviesti on kuitenkin vain esimerkiksi joitakin voltteja. Näin ollen mittapäätä käyttämällä saadaan jännitteen mittausta myös toteutettua jänniteviestivällä anturilla.

Jännitettä mitataan erikseen koko virtapiiristä, eli virtalähteen plus ja miinus navan välistä ja jännitehäviötä hitsauspistoolin matkalta. Kummassakin tapauksessa mittaustapa on hieman erilainen, sillä mitattaessa jännitettä koko piiristä, saattaa hitsauskoneen ominaisuuksien takia ilmetä hetkellisiä suuriakin jännitepiikkejä, joten differentiaali jänniteanturin käyttö on järkevää. Jännitehäviöt hitsauspistoolin matkalla ovat joitakin voltteja, joten jännitehäviötä voidaan mitata suoraan labview-jännitemoduulilla.

Polttimen sähköä eristävän rakenteen takia hitsauspistoolin jännitehäviön mittauspiste pitää sijoittaa pistoolin kädensijan sisään. Näin ollen mittaustapahtuman alkaessa mittajaan tulee avata kädensijaa sen verran, että mittaajajohto saadaan asetettua sähköä johtaviin osiin, jonka jälkeen kahva voidaan taas sulkea ja mittaustapahtuma aloittaa.

4.6 Veden virtaus, lämpötila ja paine

Sekä kaasun että veden virtausta voidaan mitata tilavuus- tai massavirtauksen avulla, joko litroina sekunnissa tai kiloina sekunnissa. Nämä mittaustavat liittyvät aineen tiheyteen. Nesteiden tiheydet ovat lähes riippumattomia olosuhteista. Tämä ei kuitenkaan koske kaasuja, joiden tiheydet riippuvat suuresti paineesta, lämpötilasta ja koostumuksesta. (Wexon 2019a.)

MIG/MAG-hitsauskoneen vesilaitteen jäähdytysveden vapaavirtaus on tyypillisesti noin 3l/min, vesilaitteesta sekä polttimen pituudesta ja rakenteesta riippuen. Koska virtaus on itsessään jo pieni, on virtausmittaukseen valittavan anturin oltava sellainen, mikä aiheuttaa järjestelmän virtaukseen mahdollisimman vähän häiriötä.

Perehtyessäni virtausmittareihin huomasin aika nopeasti, että virtausmittareita löytyy todella helposti suuriin, esimerkiksi 50l/min sovelluksiin sekä pieniin, esimerkiksi 1ml/min sovelluksiin. Väliin jää kuitenkin laaja alue, joiden nimellisvirtaukselle antureita ei oikein löydy.

Liian pienelle virtaukselle tarkoitetun anturin käyttö aiheuttaa mahdollisesti anturin rikkoutumisen, sekä mittauserätarkkuutta. Liian suurelle virtaukselle tarkoitetun anturin käyttö taas on turvallista, mutta aiheuttaa mittaerätarkkuuksia, sillä ulostuloviesti skaalautuu

mitattavalle alueelle. Yleisesti virtausantureista saadaan ulos joko jänniteviestiä, yleensä joitakin voltteja (V) tai virtaviestiä, yleensä joitakin milliampeereita (mA). On viestin tyyppi kumpi hyvänsä, se skaalautuu mittausalueelle. Jos mittausalue on esimerkiksi 0 - 50 l/min, tarkoittaa esimerkiksi yhden prosentin virhemarginaali 0,5 l/min. Jos mittausalue taas on esimerkiksi 0-5 l/min on yhden prosentin virhemarginaali vain 0,05 l/min.

Alla on esitelty muutama erilainen anturityyppi, joista mittareita löytyy myös tämän kokoluokan virtausten mittaukseen. Tiedot antureista on saatu maahantuojien myyjien kanssa käydyistä sähköpostikeskusteluista, sekä valmistajien esitteistä.

Ultraäänivirtausmittari

Ultraäänivirtausmittarissa mittaustekniikka perustuu ultraäänen siirtymäaikaan. Näissä antureissa putken ulkopintaan on asennettu anturipari, joiden tehtävänä on tuottaa ultraäänipulsseja. Tuotetut signaalit kulkevat putken sekä putkessa virtaavan aineen läpi virtausaineen suuntaisesti toiselle anturille ja toiselta anturilta takaisin virtaussuunnan vastaisesti. Ultraäänivirtausmittauksen peruserä on, että virtaussuuntaisesti kulkevat ääniaallot liikkuvat nopeammin kuin virtaussuunnan vastaisesti kulkevat. Ultraäänisignaalin kulkuajan ero on suoraan verrannollinen nesteen virtausnopeuteen. Ultraäänivirtausmittaukseen vaikuttavia tekijöitä, kuten virtausprofiilia, putken materiaalia, vuorausta sekä nesteen lämpötilaa ja materiaalia voidaan kompensoida elektronisesti. Näin ollen saadaan luotettava mittaus edellä mainituista asioista huolimatta. (Wexon 2019b.)

Hitsauksen aikana jäähdytysveden ominaisuudet, kuten lämpötila ja viskositeetti saattavat muuttua. Viskositeetti muuttuu lähinnä siksi, että jäähdytysnesteessä saatetaan käyttää glykolia. Lämpötila taas muuttuu sen takia, että hitsauksen aikana hitsauspistoolin kärkeissä olevat osat lämpenevät ja näin ollen myös jäähdytysveden lämpötila nousee. Kuten jo aiemmin on mainittu, molemmat näistä ovat ultraäänivirtausmittauksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä.

Ultraäänivirtausmittaus voidaan kalibroida tietyille lämpötiloille ja tietyille viskositeeteille. Tässä sovelluksessa kuitenkin veden lämpötilavaihtelut voivat olla esimerkiksi noin 50 °C. Tästä syystä ultraäänivirtausmittarin käyttö tässä sovelluksessa olisi mahdollisesti ongelmallista.

Magneettivirtausmittari

Magneettisissa virtausmittareissa mittaus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Magneettisessa virtausmittarissa mittarin ylä- ja alapuolelle on asetettu sähkömagneetit, jotka luovat väliinsä magneetti kentän. Kun putken läpi virtaa ainetta, joka johtaa sähköä, muodostuu molemmille puolille asetettujen elektrodien väliin jännite. Jännite on suoraan

verrannollinen aineen keskimääräiseen virtausnopeuteen. Elektroniikan avulla saadaan muutettua magneettisen virtausmittarin jännite ulostuloviestiksi. Magneetti virtausmittarin toiminnan edellytyksenä on, että mitattava aine on sähköä johtavaa, kuten esimerkiksi vesi. (Wexon 2019c.)

Hitsauskoneen vesilaitteen jäähdytysveteen lisätään usein esimerkiksi glykolia lisäämään kylmän kestävyyttä. Myös Kemppi Oy käyttää omassa valmiissa kaupallisessa jäähdytysnesteessään glykolia. Glykoli asettaa vedenvirtauksen mittaamiseen käytettävälle anturille tiettyjä rajoitteita. Kysyessäni asiaa esimerkiksi Wexonilta, sain vastaukseksi, että magneettivirtausmittareissa veden osuus käytettävästä nesteestä on oltava vähintään 50%. (Wexon 2019c.)

Lisäksi, kuten edellä on mainittu, magneettivirtausmittarin mittauseriaate perustuu sähkömagneettisen induktion. Hitsauslaboratoriossa saattaa aika-ajoin olla huomattavasti tavallista suurempia magneettikentän aiheuttajia. Tiedustelin mahdollisten magneettikenttien vaikutuksia magneettivirtausmittariin Sääto Oy:ltä, ja sain vastaukseksi, että magneettivirtausmittarit ovat kyllä häiriösuojattuja, mutta sataprosenttinen varmuus saadaan vain kokeilemalla. Näin ollen pystyttiin toteamaan, että magneettivirtausmittaria ei ole järkevää käyttää tässä sovelluksessa. (Sääto Oy 2019.)

Vortex-virtausmittari

Vortex-virtausmittareissa mittausta perustuu virtauskanavan keskellä olevaan esteeseen, joka aiheuttaa nesteeseen pyörteitä. Pyörteitä muodostuu vuorotellen esteen kummallekin puolelle. Pyörteitä kutsutaan Karmanin pyörteiksi. Pyörteiden taajuudesta pystytään laskemaan virtausnopeus, sillä pyörteiden taajuus on suoraan verrannollinen virtausnopeuteen. Näin ollen mitä suuremmalla taajuudella pyörteitä muodostuu, niin sitä suurempi on virtauskanavassa oleva virtaus. Samaa ilmiötä esiintyy myös luonnossa, esimerkiksi kun virtaavassa joessa on kivi, sen taakse muodostuu virtauksen aiheuttamia pyörteitä. (Wexon 2019d.)

Vortex virtausmittarissa pyörteistä aiheutuu painevaihtelua, jota mitataan esteen jälkeen olevalla paineanturilla. Tilavuusvirtaus saadaan laskettua virtausnopeuden sekä putken halkaisijan kautta. Vortex virtausmittaus on verrattain edullinen sekä hyvin yksinkertainen mittaustapa. Vortex mittausta soveltuu myös useille eri lämpötiloille sekä monenlaisiin käyttökohteisiin. Vortex mittarissa voi lisäksi olla myös lämpötilan mittausta ja/tai paineenmittaus. Näin ollen yhdellä mittauksella voidaan mitata tilavuusvirta, lämpötila sekä paine. Tällaisella sovelluksella voidaan mitata esimerkiksi höyryn energiaa, koska virtauskanava

aiheuttaa pienen painehäviön, jonka takia putken seinämällä olevat vesipisarot höyrystyvät. (Wexon 2019d.)

Vortex-virtausmittaus ei ehkä ole ihan yhtä tarkka, kuin kaksi aiemmin mainittua mittausta. Vortex-virtausmittauksen etuna on kuitenkin se, että siinä lämpötilavaihteluista tai pienehköistä viskositeettivaihteluista ei aiheudu juurikaan mittaasepäätarkkuuksia. Lisäksi Vortex mittareihin on mahdollista saada sekä paineen että lämpötilan mittaus. (Wexon 2019d)

Edellä mainittu vortex-anturi olisi hitsausanturi sovellukseen lähes täydellinen, mutta pienille virtauksille, kuten tässä tapauksessa, yhdistelmäantureita ei löytynyt. Näin ollen jäähdytysveden virtausta mittaamaan valikoitui jänniteviestivä vortex-anturi, joka mittaa pelkästään vedenvirtausta ja jäähdytysvedenpaineen sekä lämpötilan mittaus hoidetaan omilla antureillaan.

Veden lämpötilan mittaus

Veden lämpötila on mittaus materiaalin termisestä tilasta, eli mittaus on molekyylien kineettisen energian keskiarvo. Mitattaessa lämpötilaa materiaalista on hyvä kontakti materiaalien välillä ensiarvoisen tärkeää, jotta sekä mittaava että mitattava kappale ovat varmasti saman lämpöisiä. (Vishay 2002a.)

MIG/MAG-hitsausjärjestelmässä vesilaitteen vedenlämpötilat ovat tyypillisesti noin +20 °C - +80 °C välillä. Tietyissä sovelluksissa jäähdytysveden lämpötila voi mennä myös pakka-
sen puolelle, jonka vuoksi jäähdytysveden seassa käytetään usein jäätymisenestoainetta, esimerkiksi glykolia.

Jäähdytysveden lämpötilaa on tarkoitus mitata anturilla siten, että erikseen mitataan jäähdytysvettä, joka lähtee säiliöstä jäähdyttämään hitsauspoltinta, sekä hitsauspistoolilta palaavaa kuumentunutta jäähdytysvettä. Hitsauspistoolilta palaava jäähdytysvesi johdetaan mittauksen jälkeen jäähdyttimen kautta takaisin säiliöön.

Hitsauspistoolin meno- sekä paluuveden lämpötilaerosta pystytään selvittämään esimerkiksi se, kuinka hyvin lämpö polttimen päästä siirtyy jäähdytysveteen, kuinka hyvin jäähdyt-in kykenee jäähdyttämään jäähdytysvettä ja onko jäähdyttimen mitoitus riittävä.

Erilaisia vedenlämpötilan mittausmenetelmiä:

Termoelementti

Termoelementti eli termopari muodostuu, kun kaksi eri metalli tai metalliseoksesta valmistettua lankaa liitetään toisesta päästä yhteen. Yleensä liitos tehdään hitsaamalla. Lankojen vapaista päistä muodostuu vertailukohta eli vertailupiste. Kun vertailupisteen ja yhteen

liitetyn pään välille syntyy lämpötilaero, muodostuu termoelementteihin lämpösähkömotorinen voima, mV-jännite, minkä suuruus on verrannollinen päiden väliseen lämpötilaeroon, sekä materiaaleihin, mistä termopari on tehty. Ilmiötä kutsutaan seebeckin ilmiöksi. Ilmiön havaitsi Thomas Seebeck vuonna 1821. (WIKA 2019a.)

Termoparityyppejä on useita erilaisia ja ne määritellään standardin IEC 60584 mukaan, luokuunottamatta tyyppiä L, joka määritellään standardissa DIN 43710. Termoparien mittaustarkkuus on $\pm 0,5$ °C - $\pm 2,5$ °C, tyypistä riippuen. Esimerkiksi T-typin termoparilla tarkkuus on $\pm 0,5$ °C, kun valitaan tarkkuusluokkaa 1 oleva termopari. Tällaisella termoparilla käyttölämpötila-alue on -40 °C...+350 °C. (Vishay 2002a.)

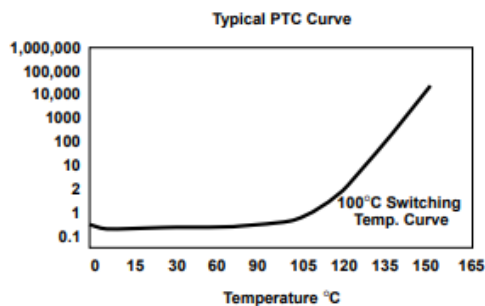
Termopari on hyvin yksinkertainen mittaussuunnitelma. Se ei ole kovinkaan altis likaantumismiselle, eikä ympäristön vaikutuksille. Termopari on myös todella edullinen, sillä se ei sisällä kallista mittauselektronikkaa, vaan mittaus perustuu pelkästään lämpötilan vaihteluun ja sitä kautta resistanssin muutokseen. (Vishay 2002a.)

Huonona puolena termoparissa voidaan pitää mittaustarkkuutta, joka rakenteen takia ei ole kovinkaan tarkka. Kuten aiemmin on kerrottu, termoparien mittaustarkkuus on $\pm 0,5$ °C - $\pm 2,5$ °C tyypin mukaan, mutta tyypillinen tarkkuus on noin $\pm 1,0$ °C - $\pm 1,5$ °C. Tässä sovelluksessa tarkkuus ei ole riittävä, sillä veden ollessa esimerkiksi +50 °C, tarkoittaa $\pm 1,0$ °C heitto mittaustuloksessa 2% virhettä. (Vishay 2002a.)

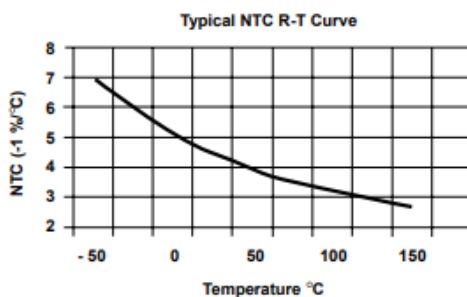
Vastuslämpötilamittarit (PTC)

Vastuslämpötila-antureissa lämpötilaa mittaa platinasta valmistettu anturielementti. Anturin mittaus perustuu siihen, että lämpötilan muuttuessa myös mittaavan anturin lämpötila muuttuu, joka taas aiheuttaa anturin resistanssin muutoksen. Puhuttaessa PTC-antureista (Positive Temperature Coefficient), lämpötilan noustessa myös anturin sisäinen resistanssi nousee (kuva 12). PTC-antureiden tyypillinen tarkkuus -50 °C ...+100 °C lämpötiloissa on noin 0,5 °C. (Vishay 2002a.)

Vastaavasti on olemassa myös NTC-antureita (Negative Temperature Coefficient), jossa lämpötilan noustessa anturin sisäinen resistanssi laskee (kuva 13). NTC-antureilla päästään tyypillisesti noin 1 °C...2 °C tarkkuuksiin lämpötilan ollessa -50 °C ...+100 °C. (Vishay 2002a.)



Kuva 12. PTC-anturi, lämpötila/resistanssi käyrä. (Vishay 2002a.)



Kuva 13. NTC-anturi lämpötila/resistanssi käyrä. (Vishay 2002a.)

Yleisimpiä PTC-antureita ovat pt100- sekä pt1000- tyyppin anturit. Erona antureilla on se, että pt100 anturin nimellisvastus 0 °C lämpötilassa on 100 ohmia, kun taas pt1000 anturilla nimellisvastus 0 °C lämpötilassa on 1000 ohmia. Näin ollen pt100 anturin vastuksen muutos on $0,385 \Omega/^\circ\text{C}$, kun pt1000 anturilla se on $3,85 \Omega/^\circ\text{C}$. (Vishay 2002a.)

Pt-100 anturit ovat hieman tarkempia kuin termoparit, vaikka myös niiden mittaus perustuu resistanssin vaihteluun. Pt-100 antureissa mittausta kuitenkin hoitaa platinasta valmistettu anturielementti, jolla saavutetaan hieman termoparia tarkempi mittaus. (Vishay 2002a.)

Pt-100 anturit eivät myöskään ole erityisen herkkiä ulkoiselle paineelle ja niiden asentaminen esimerkiksi letkuun siten, että ne ovat suorassa kontaktissa veden kanssa on suhteellisen helppoa. Pt-100 antureilla on myös hyvä saatavuus, eivätkä ne ole yleiseen anturien hintatasoon nähden kovin kalliita. Antureita löytyy sekä jänniteviestivinä, että virtaviestivinä. Tästä syystä valitsin jänniteviestivän pt-100 anturin hitsausanturin vedenlämpötilojen mittaukseen.

Vedenpaineen mittaus

Paineenmittauksessa yleisimpiä mittauslaitteita ovat sähköiset paineen mittauslaitteet, mekaaniset paineenmittauslaitteet sekä mekatroniset paineen mittauslaitteet. (WIKA)

Sähköisissä paineen mittauslaitteissa mittaus tapahtuu täysin sähköisesti. Anturi muuntaa paineen sähköiseksi signaaliksi, joka ilmoittaa paineen tai paine-eron suuruuden. Yleisimpiä sähköisen paineenmittauksen toteutuksia ovat pietsoresistiivinen ja ohut metallikalvo. (WIKA 2019c.)

Ohutkalvo

Yksi yleisimpiä paineen mittauksessa käytettyjä periaatteita on ohut metallikalvo. Ohutkalvo tunnistimien mittaus perustuu samaan periaatteeseen kuin venymämittarit, jotka ovat ristikkotyypisiä vastusrakenteita (kuva 14), ja joiden geometrinen venytys ja puristus johtavat mitattavissa olevaan vastusmuutokseen, joka johtuu pituuden ja/tai paksuuden eroista. Ohutkalvo tunnistimessa kalvoon on järjestetty neljä vastusta wheatstone-sillan muodossa, jotta voidaan havaita kalvon muodonmuutos paineen alaisena. ”Ohutkalvoprosessissa” nämä venymämittarit on kiinnitetty pohjaelementtiin tai pohjarakenteeseen. (WIKA 2019c.)



Kuva 14. Ohutkalvo painemittareiden mittauselementtejä. (Trafag 2019.)

Ohutkalvo anturi sopii hyvin käytettäväksi tämän opinnäytetyön aiheena olevassa hitsausanturissa. Antureilla on todella hyvä saatavuus ja niitä saa sekä jännite-, että virtaviestivinä. Antureista on saatavilla myös eri versioita eri painealueelle. Tähän sovellukseen vedenpaineen mittaukseen valittiin 0-6bar alueella oleva anturi, sillä vaikka vedenpaine normaalisti onkin muutaman bar:n luokkaa, saattaa se hetkittäin nousta korkeammaksi, esimerkiksi hitsauspistoolin letkun mennessä jostain syystä tukkoon. Lisäksi ohutkalvo

antureissa on erittäin suuri hetkittäisten paineiskujen kesto, sillä anturi voi kestää jopa nimellistä maksimista 50-kertaisen ylipaine iskun. (WIKA 2019c.)

Pietsyoresistiivinen

Pietsyoresistiivinen anturi on toinen paineenmittauksessa yleisesti käytetty anturi tyyppi. Myös mittaus periaate on hyvin samankaltainen kuin ohutkalvo painemittauksessa. Pietsyoresistiivisissä antureissa nimittäin käytetään puolijohde, esimerkiksi pii mittakalvoa, jossa on valikoivasti hajotettuja rakenteita. Pietsyoantureissa käytetään pietsyoresististä vaikutusta, joka perustuu puolijohdemateriaalien sähköisen vastuksen muutokseen, joka johtuu venytyksestä ja puristuksesta, joka vaikuttaa elektronien liikkuvuuteen mekaanisen rasituksen alaisena. (WIKA 2019c.)

Myös pietsyoresistiivinen anturi toimisi varmasti tässä käyttökohteessa hyvin, sillä pietsyojojen ominaisuudet ovat hyvin lähellä ohutkalvo paineantureita. Myös pietsyoantureita saa sekä jänniteviestivinä, että virtaviestivinä. Antureita etsiessäni osoittautui kuitenkin, että pietsyoanturit ovat harvinaisempia sekä vaikeammin saatavia kuin ohutkalvo paineanturit. Tästä syystä valinta kohdistui ohutkalvo paineanturiin.

Mekaaniset paineen mittauslaitteet

Mekaaniset paineen mittauslaitteet toimivat nimensä mukaisesti mekaanisesti, eivätkä tarvitse toimiakseen sähköä. Paineen mittaukseen käytetään paine-elementtejä, jotka deformaantuvat elastisen paineen vaikutuksesta. Paine voi siis olla positiivista tai negatiivista verrattuna ympäröivään paineeseen. Mekaanisten paineen mittauslaitteiden merkittävin etu on helppokäyttöisyys. (WIKA 2019c.)

Mekaanisia painemittareita (kuva 15) käytetään yleensä sovelluksissa, joissa halutaan hetkittäin tietää paine, mutta sitä ei välttämättä tarvitse tallentaa sähköiseen muotoon, tai järjestelmän paineen nousu tai lasku ei aiheuta välittömiä toimenpiteitä. Yleisiä käyttökohteita mekaanisille painemittareille on erilaiset säiliöt, esimerkiksi paineilmasäiliöt.



Kuva 15. Mekaaninen painemittari. (WIKA 2019b.)

Mekatroniset paineen mittauslaitteet

Mekatroniset paineen mittauslaitteet (kuva 16) ovat eräänlaisia yhdistelmiä edellä mainituista paineen mittauslaitteista. Mittaus tapahtuu siis mekaanisesti, mutta mittauslaitteista on mahdollista saada ulos sähköinen ulostulosignaali. Yleisin käyttökohde mekatronisille paineen mittauslaitteille on järjestelmät, jotka vaativat seurantaa sekä ohjausta. (WIKA 2019c.)

Mekatroniset paineen mittauslaitteet ovat usein fyysiseltä kooltaan huomattavasti sähköisiä suurempia, sillä usein niissä on anturin lisäksi myös esimerkiksi mekaaninen paineenmittauskello. Koska tehtävänannossa on määrätty, että anturin on oltava mahdollisimman pieni, eikä mittakello tuo anturiin mitään lisäarvoa, ei mekatroninen anturi ollut paras mahdollinen valinta tähän sovellukseen.



Kuva 16. Mekatroninen paineenmittaus anturi. (WIKA 2019b.)

4.7 Kaasun virtaus ja paine

Kaasujen virtauksen mittaamiseen voidaan soveltaa useita samoja mittausmenetelmiä kuin nesteidenkin mittaukseen. Esimerkiksi aiemmin esitellyt vortex-virtausmittaus ja ultraäänivirtausmittaus toimivat samalla lailla niin kaasulla kuin nesteilläkin. Yksi kaasuvirtauksen mittauksessa yleinen mittaustapa on massavirtausmittaus. (Säätö Oy 2019.)

Massavirtausmittauksen mittausperiaate perustuu termiseen periaatteeseen. Massavirtausmittarissa on putki, jonka läpi kaasu menee. Tämän kaasuputken rinnalle on rakennettu niin sanottu ohivirtausputki. Ohivirtausputken pinnalta kyetään RTD-vastuksen avulla mittamaan massavirtaa. Massavirtausmittareista on saatavilla malleja, joilla pystytään mittaamaan myös saman aikaisesti painetta sekä virtaavan kaasun lämpötilaa. Massavirtausmittauksen hyötyjä ovat tarkkuus sekä mittareiden yleisyys ja tätä kautta hyvä saatavuus. (Säätö Oy 2019.)

Nykyisin olevassa MIG/MAG-hitsausprosessin mittauksessa on käytössä kaasuvirtauksen mittaukseen massavirtausmittari. Massavirtausmittari on todettu hyväksi mittausmenetelmäksi, eikä sitä ole syytä mennä muuttamaan. Mittarista saadaan ulos jänniteviestiä, joten se voidaan liittää helposti osaksi uutta järjestelmää.

Kaasunpaineen mittaus voidaan toteuttaa samanlaisilla antureilla kuin vedenpaineen mittaus. Niinpä tässä sovelluksessa päädyttiin käyttämään kaasun paineenmittaukseen samanlaista ohutkalvo paineanturia kuin veden paineenmittaukseen. Kuten aiemmin tässä opinnäytetyössä on kerrottu, hitsauskoneelle saapuvassa kaasulinjassa tai kaasupullossa on jo valmiina paineen alentaja. Tästä syystä kaasulinjaan ei pääse syntymään ylipainetta, joten anturiksi voidaan valita hieman vesilinjan anturia pienempi anturi. Kaasulinjan paineanturiksi valikoitui ohutkalvo paineanturi, jonka käyttöalue on 0 - 2,5 bar.

4.8 Äänenpaine

Desibeli (lyhenne dB) on yksikkö, jota käytetään äänenvoimakkuuden mittaamiseen. Desibeli-asteikko on hieman kummallinen, koska ihmisen korva on uskomattoman herkkä. Ihmisen korva kykenee kuulemaan kaikenlaisia ääniä aina hiljaisesta kuiskauksesta suihkumoottoriin asti. Tehon osalta suihkumoottorin ääni on noin 1 000 000 000 000 kertaa tehokkaampi kuin pienin kuuluva ääni. (HowStuffWorks 2019.)

Desibeli-asteikolla pienin kuuluva ääni (lähes täydellinen hiljaisuus) on 0 dB. Ääni, joka on kymmenen kertaa tehokkaampi, on 10 dB. Ääni, joka on 100 kertaa voimakkaampi kuin lähes täydellinen hiljaisuus, on 20 dB. 1000 kertaa tehokkaampi ääni, kuin lähes täydellinen hiljaisuus on 30 dB. (HowStuffWorks 2019.)

Tässä muutamia yleisiä ääniä ja niiden desibeliarvoja:

Lähes täysi hiljaisuus - 0 dB

Kuiskaus - 15 dB

Normaali keskustelu - 60 dB

Ruohonleikkuri - 90 dB

Auton äänimerkki - 110 dB

Rock-konsertti tai suihkumoottori - 120 dB

Ilotulite tai aseella ammunta - 140 dB.

Kuten on yleisesti tiedossa, etäisyys vaikuttaa äänenvoimakkuuteen. Kaikki yllä ilmoitetut äänenvoimakkuudet on mitattu äänilähteiden välittömässä läheisyydessä. (HowStuffWorks 2019.)

Kaikki yli 85 dB: n äänet voivat aiheuttaa kuulon heikkenemistä. Menetys liittyy sekä äänen tehoon, että kuuloalueen taajuuteen. Esimerkiksi kahdeksan tuntia yhtäjaksoista 90 dB: n vahingoittaa todistetusti kuuloa. Mikä tahansa yli 140 dB: n äänelle altistuminen aiheuttaa välitöntä vahinkoa kuulolle, sekä kipua kuulijalle. (HowStuffWorks 2019.)

Opinnäytetyön aiheena olevan hitsausanturin tehtävänannossa äänenvoimakkuuden mittausta ei ollut erityisen tarkasti määritelty. Lähinnä äänenvoimakkuutta halutaan mitata siksi, että saadaan muiden mittausten liitteeksi tieto siitä, onko hitsaustapahtuma ollut tasaista.

Hitsatessa ääni on todella hyvä indikaattori kertomaan hitsauksen tasaisuudesta. Usein, esimerkiksi jos hitsaus on takkuavaa, kuulee sen äänestä, vaikka ei näkisi itse hitsaustapahtumaa. Myös mahdolliset roiskeet sekä valokaaren ajoittaiset katkeamiset tai langansyötön takkuaminen kuuluu äänen ajoittaisena pätkimisenä tai äänen aaltoilemisena.

Desibelien mittaukseen on saatavilla useita erilaisia mittareita. Yleisesti kaikkien desibelimittareiden toiminta perustuu siihen, että ne muuntavat ääniaallot sähköisiksi signaaleiksi. Sähköiset signaalit voidaan muuntaa joko suoraan näyttöä käyttämällä lukemaksi, kuten esimerkiksi ns. käsimallin desibelimittareissa tehdään (kuva 17).



Kuva 17. Käsimallin desibelimittari. (NTI-Audio 2019a.)

Toinen vaihtoehto on, että desibelimittari on anturimallinen (kuva 18), jolloin sähköiset signaalit lähetetään joko sellaisenaan tietokoneohjatulle muuntimella tai anturissa itsessään on muunnin, jolla signaalit muunnetaan joko jännite- tai virtaviestiksi. (NTI-Audio 2019a.)



Kuva18. Anturimallinen desibelimittari. (NTI-Audio 2019b.)

Koska hitsausanturissa myös ääni tulee saada taltioitua labview:iin, oli anturimallinen desibelimittari soveltuvampi.

4.9 Datan taltiointi labview:illä

Viimeisimpänä määrittäminen tehtävänannossa oli, että kaikki yllä mainitut tiedot tulee saada taltioitua labview:iin. Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) itsessään on järjestelmätekniikkaohjelmisto sovelluksille, jotka vaativat mittausta,

testausta tai ohjausta sekä nopean pääsyn data- sekä laitteistotietoihin. Labview on siis tietokoneelle asennettava ohjelmisto, jolla saadaan esimerkiksi taltioitua erilaista kerättävää dataa. (National Instruments 2019.)

Antureiden ja tietokoneella käytettävän labview-ohjelmiston väliin tarvitaan I/O-moduuleita, sillä antureilta tulevat analogiset signaalit on muunnettava tietokoneelle digitaalisiksi signaaleiksi. Labview:in yhteyteen tarjolla on modulaarisia rakenteita, mitkä koostuvat I/O-moduuleista (input/output) (kuva 19) sekä telakasta (kuva 20). (National Instruments 2019.)



Kuva 19. I/O-moduuli. (National Instruments 2019.)

I/O-moduuleita on saatavilla erityyppisiä riippuen siitä, mitä halutaan lähettää tai vastaanottaa. Nimensä mukaisesti Input-moduuleita käytetään signaalitietojen lähettämiseen järjestelmän ulkopuolelle, kun taas Output-moduuleita käytetään signaalien vastaanottamiseen. Tähän opinnäytetyöhön valitut anturit ovat kaikki jänniteviestiviä, joten anturien viestien vastaanottamiseen tarvitaan jännite I/O-moduuli. (National Instruments 2019.)

Jänniteviestiviä antureita luetaan jännite I/O-moduulilla. Moduuliin tarvitaan antureille 8 singletuloa. Jännitteen mittausturille tarvitaan yksi differentiaalitulo ja jännitehäviön mittaukseen yksi differentiaalitulo. Koska jännitemoduuli valitaan valmiista valikoimasta, ei tällaista optimimoduulia ollut saatavilla. Jännitemoduuliksi valittiin parhaiten tarvetta vastaava I/O-moduuli, jossa on 32 sigletuloa/16 differentiaali tuloa.



Kuva 20. Telakka. (National Instruments 2019.)

Telakka ohjaa I/O-moduulien ja ulkoisen isännän, esimerkiksi tietokoneen, välistä ajoitusta, synkronointia ja tiedonsiirtoa. Telakassa on USB-, Ethernet- tai WiFi-liitäntä, sekä useita korttipaikkoja, jotta saadaan oikea määrä I/O:ita eri sovelluksiin. Telakan korttipaikkoihin voidaan yhdistää erilaisia I/O moduuleita. (National Instruments 2019.)

Telakoita on saatavilla korttipaikkojen lukumäärien perusteella yksipaikkaisista aina 14-paikkaisiin asti. Tämän opinnäytetyöhön valittiin neljälle moduulille tarkoitettu telakka, sillä kuten aiemmin tässä opinnäytetyössä on kerrottu, mittausta on tarkoitus laajentaa myöhemmin.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää Kemppi Oy:n tuotekehityksen käyttöön uudenlainen hitsausdatan keruuseen tarkoitettu hitsausanturi.

Opinnäytetyö koostuu teoriaosuudesta sekä suunnitteluosuudesta. Teoriaosuudessa kerrottiin, mitä MIG/MAG-hitsaus on ja millaisia MIG/MAG-hitsauslaitteistoja sekä laitteiston osia on saatavilla. Suunnitteluosiossa käytiin läpi hitsauksesta mitattavia suureita sekä niiden mittaukseen tarkoitettuja antureita. Osiossa avattiin erityyppisten antureiden hyviä ja huonoja puolia sekä ongelmia, joita antureiden valintaan liittyy.

Lopputulokset vastaa täysin tehtävänantoa. Muistettavaa kuitenkin on, että MIG-anturi tulee tuotekehityskäyttöön ja sen kehittämistä jatketaan ja mikäli puutteita tai ongelmia löytyy, niin niihin puututaan. Tämän opinnäytetyön valmistumisen hetkellä anturi on vasta suunniteltu, ja toteuttaminen alkaa, kun anturit saadaan myyjiltä.

Anturin jatkokehityksen kannalta seuraavana on anturin kasaaminen, kotelointi sekä lankavoiman ja nopeuden mittaussuunnitelman suunnittelu sekä toteutus. Myös nämä mittaukset ovat tarkoitus liittää nykyisen, sekä tämän opinnäytetyön tuottaman mittauksen rinnalle.

LÄHTEET

- Epicsensors 2019. Miten toimii termoelementti. Epicsensors.fi [viitattu 4.4.2019]. Saatavissa: <https://www.epicsensors.fi/faq/miten-te-anturi-toimii/>
- ESAB 2019a. MIG/MAG-hitsaus. Esab.com [viitattu 1.4.2019]. Saatavissa: <http://www.esab.fi/fi/fi/education/blog/mig-mag-hitsaus.cfm>
- ESAB 2019b. Hitsien laatu ja hitsausvirheet. Esab.com [viitattu 1.4.2019]. Saatavissa: https://www.esab.fi/fi/fi/support/documentation/educational/upload/hitsien_laatu_ja_hitsausvirheet.pdf
- HowStuffWorks 2019. What is a decibel, and how is it measured? [viitattu 4.5.2019]. Saatavissa: <https://science.howstuffworks.com/question124.htm><https://www.nti-audio.com/en/products/measurement-microphones>
- Kemppi Oy 2019. Tietoja Kempistä. [viitattu 5.5.2019]. Saatavissa: <https://www.kemppi.com/fi-FI/yritys/kemppi/tietoa-yrityksesta/>
- Silvonen, K. 2018, Elektroniikka ja sähkötekniikka. Gaudeamus Oy.
- Kontram 2019. Virta-anturit ja anturijärjestelmät. kontram.fi [viitattu 20.4.2019]. Saatavissa: <https://www.kontram.fi/laitteet/mittaus-ja-testaus/sahkotekniset-mittalaitteet/virta-anturit-ja-anturijarjestelmat.html>
- Lukkari, J., 2002, Hitsaustekniikka, Perusteet ja kaarihitsaus. Opetushallitus
- Hautala, M. & Peltonen, H. 2014. Insinöörin fysiikka. Lahden Teho-Opetus Oy
- National Instruments 2019. What is LabVIEW? [viitattu 5.5.2019]. Saatavissa: <http://www.ni.com/fi-fi/shop/labview.html>
- NTI-Audio 2019a. Audio and Acoustic Analyzer. [viitattu 4.5.2019]. Saatavissa: <https://www.nti-audio.com/en/products/xl2-sound-level-meter>
- NTI-Audio 2019b. Measurement Microphones. [viitattu 4.5.2019]. Saatavissa: <https://www.nti-audio.com/en/products/measurement-microphones>
- Mäkimaa, T., 2019. Kemppi Oy
- Säätö Oy 2019. Massavirtausmittari. [viitattu 2.5.2019]. Saatavissa: <https://saato.fi/tuotteet/massavirtausmittari-ja-saataja/>
- Trafag 2019. Pressure transmitter. trafag.com [viitattu 21.4.2019]. Saatavissa: <https://www.trafag.com/en/trafag/technology/pressure-measurement/pressure-transmitter/>

Vishay 2002a. NTC and PTC Thermistors. Vishay.com [viitattu 15.4.2019]. Saatavissa:

<https://www.vishay.com/docs/33016/engnote.pdf>

Wexon 2019a. Virtaus. [viitattu 6.4.2019]. Saatavissa: <https://www.wexon.fi/tuotteet/virtaus/>

Wexon 2019b. Ultraäänivirtausmittarit. [viitattu 6.4.2019]. Saatavissa:

<https://www.wexon.fi/tuotteet/virtaus/virtausmittarit/ultraaanivirtausmittarit/>

Wexon 2019c. Magneettiset virtausmittarit. [viitattu 6.4.2019]. Saatavissa:

<https://www.wexon.fi/tuotteet/virtaus/virtausmittarit/magneettiset-virtausmittarit/>

Wexon 2019d. Vortex-virtausmittarit. [viitattu 6.4.2019]. Saatavissa:

<https://www.wexon.fi/tuotteet/virtaus/virtausmittarit/vortex-virtausmittarit/>

Wexon 2019e. Painemittari. [viitattu 19.4.2019]. Saatavissa: <https://www.wexon.fi/tuotteet/3-e-painemittari-fantini-cosmi/>

WIKA 2019a. Operating limits and tolerances of platinum resistance thermometers per EN 60751: 2008. wika.fi [viitattu 15.4.2019]. Saatavissa:

https://www.wika.fi/upload/DS_IN0017_en_co_20804.pdf

WIKA 2019b. Painemittari. [viitattu 19.4.2019]. Saatavissa:

https://www.wika.fi/pgt23_100_pgt23_160_fi_fi.WIKA?ProductGroup=73099

WIKA 2019c. Paineenmittaus. [viitattu 7.4.2019]. Saatavissa: [https://www.wika.fi/landing-](https://www.wika.fi/landing-page_pressure_measurement_fi_fi.WIKA)

[page_pressure_measurement_fi_fi.WIKA](https://www.wika.fi/landing-page_pressure_measurement_fi_fi.WIKA)