

Tatu Hirvonen & Juha Kauhanen

**LASERHITSAUSKAMERAN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET HITSUKSEN
KOULUTUKSESSA, TEOLLISUUDESSA JA TUTKIMUSTYÖSSÄ**

**LASERHITSAUSKAMERAN KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET HITSUKSEN
KOULUTUKSESSA, TEOLLISUUDESSA JA TUTKIMUSTYÖSSÄ**

Tatu Hirvonen & Juha Kauhanen
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Ylempi ammattikorkeakoulututkinto
Hitsausala
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tekniikan alan ylempi ammattikorkeakoulututkinto, hitsaus

Tekijät: Tatu Hirvonen & Juha Kauhanen

Opinnäytetyön nimi: Laserhitsauskameran käyttömahdollisuudet hitsauksen koulutuksessa, teollisuudessa ja tutkimustyössä

Työn ohjaajat: Vesa Moilanen & Vesa Rahkolin

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: kevät 2024

Sivumäärä: 16 + 0 liitettä

Opinnäytetyö toteutettiin kirjoittamalla artikkelisarja Suomen Hitsausteknillisen Yhdistyksen (SHY) Hitsaustekniikka-lehteen (HT). Artikkelisarja sisälsi neljä artikkelia HT 5/2022, 1/2023, 4/2023 ja 1/2024. Ne keskittyivät Cavitar Ltd:n laserteknologiaan perustuvien hitsauskameroiden ja Schlieren-kuvantamisen hyödyntämiseen hitsauksen koulutuksessa, hitsaavassa teollisuudessa sekä hitsauksen tutkimustyössä. Artikkeleita ei julkaistu kronologisessa järjestyksessä. Hitsauskameran valintaan vaikuttanut tutkimus julkaistiin HT-lehdessä 4/2023.

Artikkelien tutkimustyössä käytettiin tutkimusmenetelmänä laadullista menetelmää. Tutkimuksessa oli kokeita ja kokeiluita sekä haastatteluita. Lisäksi käyttäjäkokemuksia kyseltiin Forms-kyselynä. Ensimmäisessä artikkelissa tutkittiin Cavitar C300 -hitsauskameran käyttömahdollisuudet hitsaus- ja koulutuspalveluita tarjoavan yrittäjän näkökulmasta. Toisessa artikkelissa tehtiin käytännön tutkimustyö koulutuksessa siitä, miten C400-hitsauskameran live-kuvaa ja tallenteita voi hyödyntää hitsauksen koulutuksessa oppilaitoksissa. Kolmannessa artikkelissa oli kaksi teollisuuden case-tutkimusta, joissa selvitettiin hitsauskameran käyttömahdollisuuksia. Case 1:ssä oli TIG-päittäisliitosautomaatti ANDRITZ Warkaus Works Oy:ssä (AWW Oy) ja Case 2:ssa oli MV-Welding Oy:n hitsausmanipulaattori Best Welder, jossa testattiin hitsauskameraa. Neljännessä artikkelissa tutkittiin Cavitar Ltd:n Schlieren-kuvantamisen mahdollisuuksia. MAG-hitsaussuojakaasun käyttäytymistä tutkittiin käytettäessä kohdepoistoa eri etäisyyksillä ja sen vaikutusta suojaakaasun suojaavaan vaikutukseen.

Johtopäätöksinä eri caseista voidaan todeta, että Cavitar Ltd:n hitsauskameroiden käytöstä on hyötyä hitsauksen koulutuksessa, hitsaavassa teollisuudessa ja tutkimuksessa. Reaaliaikaisen live-kuvan seuraaminen ilman häiritsevää valokaarta isolta näytöltä auttaa hitsauksen oppijaa ymmärtämään, miten hitsisulaa hallitaan ja miltä hyvälaatuisen hitsin pitää näyttää hitsauksen aikana. Lisäksi videotallenteet hitsaussuorituksesta ja niiden analysointi oppijan kanssa tuottivat hyviä tuloksia. Hitsauksen kouluttajan on helppo näyttää pieniä yksityiskohtia tarkasta live-kuvasta tai videoista. Teollisuus caseissa live-kuva mahdollisti hitsausparametrien aiempaa helpomman ja nopeamman säätämisen, jolla oli vaikutusta hitsauksen laadun ja tuottavuuden paranemiseen. Teollisuus case 3.2:ssa hitsausoperaattorin fyysiseen ergonomiaan ja työturvallisuuteen saatiin huomattavaa parannusta hitsausmanipulaattoriin integroidun hitsauskameran live-kuvan ansiosta. Case 4:ssä Schlieren-kuvantamisen hyödyntämisellä pystyttiin selvittämään optimaalinen etäisyys kohdepoistolle. Liian lähellä oleva kohdepoisto aiheuttaa riskin hitsin hapettumiselle, kun taas liian kaukana oleva kohdepoisto voi altistaa hitsaajan pienille silmällä näkymättömille partikkeleille.

Asiasanat: lasertekniikka, reaaliaikaisuus, koulutusmenetelmät, laadunhallinta, fyysinen ergonomia, työturvallisuus, hitsaus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Master of Engineering, Welding

Authors: Tatu Hirvonen & Juha Kauhanen

Title of thesis: The use of laser welding cameras in welding education, industry, and research

Supervisors: Vesa Moilanen & Vesa Rahkolin

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 16 + 0 appendices

The thesis was implemented by writing a series of articles for the The Welding Society of Finland's Welding Technology magazine (WT). The series of articles included four articles WT 5/2022, 1/2023, 4/2023, and 1/2024. The articles dealt with the use of Cavitar Ltd's laser technology-based welding cameras and Schlieren imaging in welding education, welding industry, and welding research. The articles were not published in chronological order. The research that influenced the choice of the welding camera was published in the WT magazine 4/2023.

The research method used for the articles was qualitative. The research included experiments and trials as well as interviews. In addition, user experiences were asked in a Forms survey. The first article was a study of the possibilities of using the Cavitar C300 welding camera from the perspective of an entrepreneur offering welding and training services. In the second article, practical research was carried out in an educational setting on how to use live footage of welding and recordings from the C400 welding camera in welding education in educational institutions. The third article was based on two industry case studies that explored the potential of using a welding camera. Case 1 was automated TIG welding machine at ANDRITZ Warkaus Works Oy (AWW Oy), and Case 2 was MV-Welding Oy's Best Welder welding manipulator with an integrated welding camera. The fourth article investigated the possibilities of Cavitar Ltd's Schlieren imaging. The behavior of the MAG welding shielding gas was studied when using target extraction at different distances and its effect on the protective effect of the shielding gas.

Conclusions from the different cases are that the use of Cavitar Ltd's welding cameras is useful for welding education, welding industry and research. Watching real-time live images without a disturbing welding arc from a large screen helps the learner of welding understand how to control the weld pool and what a good quality weld should look like during welding. In addition, the video recordings of the welding performance and an analysis of these together with the learner produced reliable results. Welding instructor can show small details in a clear live image or video. In the industrial cases the live image made it easier and faster to adjust the welding parameters, which influenced improving the quality and productivity of welding. In the industrial case 3.2, a significant improvement was made to the physical ergonomics and occupational safety of the welding operator thanks to the live image of the welding camera integrated into the welding manipulator. Case 4 With the use of Schlieren imaging, it was possible to determine the optimal distance for fume extraction. Too close fume extraction poses a risk of oxidation of the weld, while too far fume extraction can expose the welder to small particles invisible to the eye.

Keywords: laser technology, real-time, educational methods, quality management, physical ergonomics, industrial safety, welding

ALKUSANAT

Haluamme kiittää kaikkia tähän opinnäytetyön tutkimukseen osallistuneita yrityksiä ja kyselyihin ja haastatteluihin osallistuneita henkilöitä sekä erityisesti Suomen Hitsausteknillistä Yhdistystä artikkelisarjan julkaisusta ja Cavitar Ltd:tä mahdollisuudesta päästä tutkimaan laserhitsauskameroiden käyttöä. Lisäksi kiitokset Savon ammattiopisto, ANDRITZ Warkaus Works Oy ja Kemppi Oy.

Suuret kiitokset Oulun ammattikorkeakoulun yliopettaja Vesa Moilaselle ja projektipäällikkö Vesa Rahkolinille tämän opinnäytetyön ohjauksesta. Toimitusjohtaja Taito Alahautalalle ja koko Cavitar Ltd:n henkilökunnalle, koulutuspäällikkö Hannele Auviselle Savon ammattiopistosta, toimitusjohtaja Ville-Pekka Arasmolle EveryWeld Oy:stä, toimitusjohtaja Markus Vepsäläiselle MV-Welding Oy:stä, hitsausteknikko Janne Salmelle ja tuotannon kehityspäällikkö Tomi Rosvalille AWW Oy:stä sekä koulutuspäällikkö Juha Kauppilalle SHY:stä saumattomasta yhteistyöstä.

Many thanks to WorldSkills Training Manager UK Andrew Whitehouse, for co-operation in this research.

Varkaudessa 25.3.2024

Tatu Hirvonen & Juha Kauhanen

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TEOREETTINEN VIITEKEHYS	10
3	JULKAISTUJEN ARTIKKELEIDEN JOHTOPÄÄTÖKSET	13
4	POHDINTA	15
	LÄHTEET	17

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön lähtökohtana oli hitsausopetuksen kehittäminen. Hirvonen ja Kauhanen ovat olleet hitsauksen opetustyössä vuodesta 2010 lähtien ja suunnittelivat yhdessä hitsausvideoiden hyödyntämistä hitsauksen opettamisessa. Riittävän yksityiskohtaisia hitsausvideoita ei ollut vuonna 2010 saatavilla häiritsevän UV-valon vuoksi tai ne olivat kuvalaadultaan heikkoja. Hitsausvideoita yritettiin tehdä itse käyttämällä erilaisia menetelmiä ja kokeiluita tavallisella järjestelmäkameralla. Hitsausvideoita kuvattiin muun muassa hitsauslasin ja -maskin läpi säätämällä kameran kuvanlaatua. Hyvälaatuista ja tarpeeksi yksityiskohtaista hitsausvideota näillä menetelmillä ei pystytty tekemään. Päätettiin jäädä odottamaan tarpeeksi hyvälaatuisen tekniikan löytämistä hyvälaatuisten hitsausvideoiden valmistamiseksi.

Työn alussa tutkimme viiden eri hitsauskameravalmistajan kuvanlaatua, joita olivat ARC Vision, Xiris, iShot®, WeldWatch ja Cavitar. Cavitar C300- ja C400-hitsauskameroiden kuvanlaatu osoitautui poikkeuksellisen tarkaksi muihin hitsauskameroihin verrattuna. Vuonna 2022 oli mahdollisuus päästä tutkimaan Cavitar C400 -hitsauskameran käyttöä hitsausopetuksessa. Artikkelisarjassa tutkittiin myös hitsauskameran hyötyjä teollisuudessa ANDRITZ Warkaus Works Oy:ssä (AWW Oy) ja MV-Welding Oy:ssä sekä hitsauksen tutkimustyössä Savon ammattiopiston kone- ja tuotantotekniikka alalla Varkauden yksikössä.

Opinnäytetyö toteutettiin kirjoittamalla artikkelisarja Suomen hitsausteknillisen yhdistyksen Hitsaustekniikka-lehteen (jatkossa HT). Artikkelisarja sisälsi neljä artikkelia HT 5/2022, 1/2023, 4/2023 ja 1/2024. Artikkelisarja jaettiin eri caseiksi Hitsaustekniikka-lehden teemanumeroiden pohjalta ja tästä syystä artikkeleita ei julkaistu kronologisessa järjestyksessä. Kaikissa artikkeleiden tutkimuksissa käytettiin laadullista tutkimusta, joka toteutettiin haastatteluina. Artikkelissa 2 HT 1/2023 käytettiin kvalitatiivista tutkimusmenetelmää, joka toteutettiin Forms-kyselyllä. Kaikissa artikkelisarjan tutkimuksissa tehtiin kokeita ja kokeiluita hitsauskameran käyttötavoista ja oppimismenetelmistä. Kaikkia tutkimuksessa käytettyjä lähteitä, haastatteluja ja Forms-kyselyn tuloksia ei julkaistu artikkelisarjassa toimituksellisista syistä.

Artikkelisarjan ensimmäisessä osassa Hitsaustekniikka-lehti numerossa 5/2022 tutkittiin Cavitar C300-hitsauskameran käyttömahdollisuuksia hitsaus- ja koulutuspalveluita tarjoavan yrittäjän näkökulmasta. Artikkelista puolet kirjoitti Tatu Hirvonen ja puolet Juha Kauhanen niin, että lähteitä

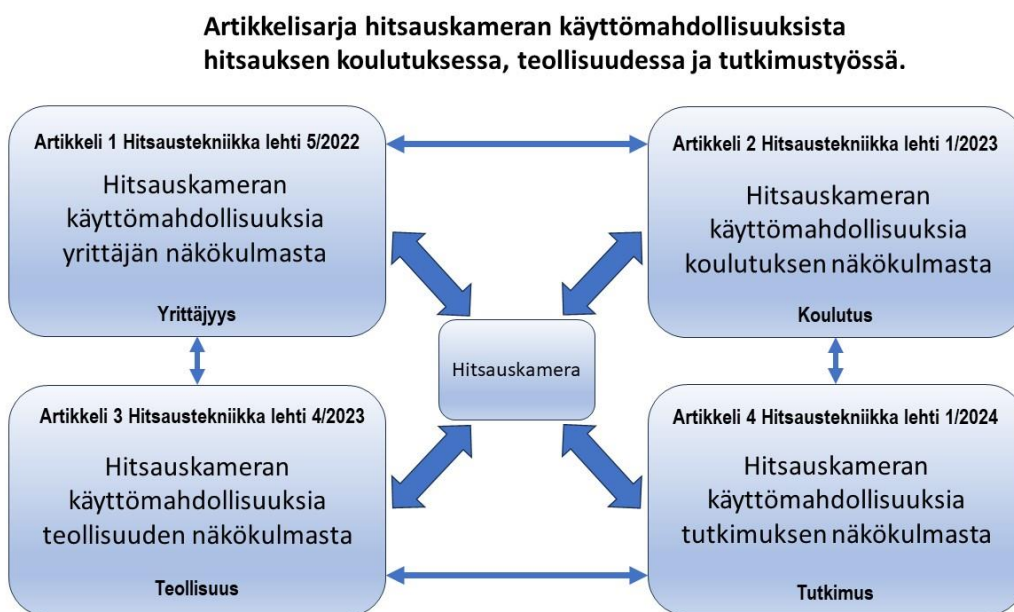
selvitti Tatu Hirvonen ja hitsauskameran kuvaukset teki Juha Kauhanen. Vuonna 2022 yrittäjänä ja hitsauskouluttajana toiminut Ville-Pekka Arasmo EveryWeld Oy:stä testasi Cavitar C300-hitsauskameraa ja häntä haastateltiin sen käyttömahdollisuuksista hitsauksen koulutuksen sekä hitsaavan teollisuuden näkökulmasta. Tutkimustyössä käytettiin laadullista menetelmää. Hitsausvideoita analysoivat Tatu Hirvonen, Juha Kauhanen ja Ville-Pekka Arasmo.

Artikkelisarjan toisessa osassa Hitsaustekniikka-lehti numerossa 5/2022 tehtiin käytännön tutkimustyö koulutuksessa siitä, miten hitsauskameran live-kuvaa ja tallenteita voi hyödyntää hitsauksen koulutuksessa oppilaitoksissa. Tutkimuksessa käytettiin sekä kvantitatiivista että kvalitatiivista tutkimusta. Kvantitatiivinen tutkimus toteutettiin Forms-kyselyllä ja laadullinen tutkimus haastatelluilla. Artikkelista puolet kirjoitti Tatu Hirvonen ja puolet Juha Kauhanen niin, että lähteitä selvitti Tatu Hirvonen ja hitsauskamerakuvia ja analysointia, tekivät Tatu Hirvonen, Juha Kauhanen ja Ville-Pekka Arasmo. Tässä tutkimuksessa hitsauskameran käyttöä ja hitsausvideoita pääsi testaamaan hitsauksen kouluttajia, WorldSkills kilpailijoita ja asiantuntijoita, toisen asteen ammattikoulun opiskelijoita Savon ammattiopistossa sekä teollisuudessa hitsaavien ammattilaisten täydennyskoulutuksessa, jonka toteutti Savon Koulutus Oy kouluttajana lehtori Jukka Saastamoinen. Tavoitteena tutkimuksessa oli selvittää, miten hitsauskameran avulla voi kehittää hitsausopetusta ja mitä hyötyä siitä on oppijalle ja opettajalle.

Artikkelisarjan kolmannessa osassa tehtiin kaksi case-tutkimusta teollisuudessa, jossa tutkittiin hitsauskameran käyttömahdollisuuksia. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten hitsauskameran live-kuvaa ja videotallenteita on mahdollista hyödyntää hitsaavassa teollisuudessa. Tutkimusmenetelminä olivat havainnointit, kokeet ja kokeilut sekä haastattelut. Case 1:ssä asennettiin C400-hitsauskamera TIG-päittäisliitosautomaattiin AWW Oy:ssä ja Case 2:ssa MV-Welding Oy:n Best Welder hitsausmanipulaattoriin integroitiin C400-hitsauskamera apuvälineeksi parantamaan hitsausoperaattorin näkymää hitsaustapahtumaan. Artikkelista puolet kirjoitti Tatu Hirvonen ja puolet Juha Kauhanen niin, että lähteitä selvitti Tatu Hirvonen ja hitsauskamerakuvia Case 1:ssä tekivät Janne Salmi, AWW Oy ja Juha Kauhanen. Tulosten analysointia tekivät Tatu Hirvonen, Juha Kauhanen ja Janne Salmi AWW Oy ja Case 2:ssa hitsauskamerakuvia ja niiden analysointia tekivät Tatu Hirvonen, Juha Kauhanen, Ville-Pekka Arasmo ja Markus Vepsäläinen MV-Welding Oy:stä.

Artikkelisarjan neljännessä julkaisussa oli tavoitteena selvittää, miten hitsauskameraa ja suurnopeuskameraa voidaan hyödyntää tutkimustyössä. Artikkelissa 4 tutkittiin kohdepoistajan etäisyyden vaikutusta MAG-hitsaussuojaakaasun suojaavaan vaikutukseen hyödyntäen Cavitar Ltd:n Schlieren-kuvantamislaitteistoa. Kohdepoiston vaikutusta hitsin laatuun tutkittiin muuttamalla etäisyyttä 120 mm, 160 mm, 200 mm ja ei ollenkaan kohdepoistoa. Kohdepoiston imutehoa ei mitattu tai muutettu tutkimuksen aikana. Tutkimusmenetelminä olivat havainnoinnit, kokeet ja kokeilut sekä haastattelut. Artikkelista puolet kirjoitti Tatu Hirvonen ja puolet Juha Kauhanen niin, että lähteitä selvitti Tatu Hirvonen ja hitsauskamerakuvauksia suorittivat Cavitar Ltd:stä Taito Alahautala ja Maria Viljamaa sekä Juha Kauhanen ja Ville-Pekka Arasmo. Tuloksia analysoivat Taito Alahautala ja Maria Viljamaa Cavitar Ltd:stä sekä Tatu Hirvonen, Juha Kauhanen ja Ville-Pekka Arasmo.

Kuvassa 1 esitetään tutkimuksessa havaittuja synergioita hitsauskameran käytöstä eri toimialojen välillä, joissa hitsataan tai tutkitaan hitsausta. Koulutuksen kautta hitsaavaan teollisuuteen saadaan uutta työvoimaa joko työntekijöinä tai yrittäjinä. Lisä- tai syventävä koulutus tukee työtä tekevää ja sitä kautta esimerkiksi yritysten kilpailukykyä. Tutkimustyö hitsausalan kehittämiseksi tukee koulutusta ja teollisuutta. Tutkimalla esimerkiksi kaasuvirtauksia pystytään selvittämään optimaaliset kaasuvirtaukset, jolla saavutetaan kustannussäästöjä ja se tukee kestäväää kehitystä. Tutkimustyössä Cavitar Ltd:n laserteknologiaan perustavat hitsauskamerat ja ratkaisut antavat poikkeuksellisen hyvän näkymän hitsaustapahtumaan ilman häiritsevää valokaarta.



KUVA 1. Hitsauskameran käyttömahdollisuudet ja synergiat eri kohderyhmien välillä

2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Kaikkia tutkimuksessa käytettyjä lähteitä, haastatteluita ja Forms-kyselyn tuloksia ei julkaistu artikkelisarjassa toimituksellisista syistä, koska artikkelien koko oli rajattu. Seuraavaan on koottu artikkeleissa ja opinnäytetyössä käytetyt lähteet.

Tutkimuksen alussa tutkittiin markkinoilla olevia hitsauskameroita ja niihin perustuvia opetussovellyksiä (Klimek 2021). Tutkimuksessa (Hirvonen & Kauhanen 2023a, 27–28) löydettiin viisi eri hitsauskameran valmistajaa. ARC Vision ARCV-CAM (Retco welding products 2021) hitsauskameran kuvanlaadussa havaitsimme välkkymistä ja hitsisula ei ollut nähtävissä valokaaren takaa (Retco Oy 2021). Xiris XVC-1000/XVC-1100 (Xiris 2021) hitsauskameran kuvanlaatu oli hyvä ennen valokaaren syttymistä, mutta valokaaren syttymisen jälkeen kuvanlaatu heikkenee ja siinä on välkkymistä (Xiris Automation Inc. 2020). Weld-i® 625 HD Compact Weld Camera System (Weld-i® 2021) hitsauskameran kuvanlaatu oli hyvä, mutta valokaari häiritsi sulalammikon tarkkaa havainnointia, ja tapahtumat sulalammikon pinnalla jäivät havaitsematta (InterTest, Inc. 2021). WeldWatch-HD (Visible welding 2021) hitsauskameran kuva on tumma ja se välkkyä voimakkaasti. Hitsauskamerassa on värikuva, mutta kuvasta ei pysty havainnoimaan hitsisulan pinnan yksityiskohtia selkeästi (Visible Welding 2017). Cavitar C300 Welding Camera (Cavitar Ltd 2021) kuvanlaatu oli poikkeuksellisen hyvä (Cavitar Ltd 2018) muihin hitsauskameroihin verrattuna ilman mitään välkkymistä ja hitsisulan pinta oli selkeästi havaittavissa (Cavitar Ltd 2022a). Valitsimme tutkimuksiimme Cavitar C300 -hitsauskameran ja tutkimuksen aikana Cavitar Ltd toi markkinoille myös C400-mallin. Molempia kameramalleja käytettiin tutkimuksen edetessä.

Artikkelissa hitsauskameran käyttömahdollisuuksista yrittäjän näkökulmasta tehtiin kvalitatiivinen tutkimus (Hirvonen & Kauhanen 2022, 25–26). Siinä haastateltiin yrittäjänä toimivaa Ville-Pekka Arasmoa ja tehtiin koehitsauksia Cavitar C300 -hitsauskameraa hyödyntäen. Tutkimuksen koehitsauksissa Ville-Pekka Arasmo hitsasi TIG-prosessilla S355 teräsputkien päittäisliitoksia asennossa PC ja ne analysoitiin ennen haastattelua (Cavitar Ltd 2022b) sekä päälle hitsausta ruostumattomalle teräkselle (Cavitar Ltd 2023a).

Tutkimuksessa hitsauskameran käyttömahdollisuuksista koulutuksen näkökulmasta (Hirvonen & Kauhanen 2023b) tehtiin laadullinen tutkimus, jossa oli kokeita ja kokeiluita sekä haastatteluita.

Tutkimuksessa selvitettiin, miten pystytään kehittämään hitsausopetusta opiskelijoille mielenkiintoisemmaksi ja helpommaksi tavaksi oppia hitsausta. Tutkimme erilaisia oppimistapoja (Kankaanpään yhteislyseo). Flippausopetus eli käänteinen oppiminen antaa mahdollisuuksia kehittää hitsausopetusta ja sillä voi aktivoida oppijaa suoriutumaan paremmin opinnoistaan (Vaasan yliopisto 2022). Hitsausvideoita hyödyntämällä hitsausopetuksessa pystytään tuomaan lisää sisältöä opetukseen ja oppimiseen. Bloomin taksonomiaa hyödyntäen rakennettu opetus auttaa oppijaa kehittämään itseään ja pystyy auttamaan toista oppijaa kehittymään hyödyntämällä oppimisen portaita (Tahvanainen 2022, 17–20). Esimerkiksi opiskelijat voivat tallentaa hitsauskameralla toistensa hitsaussuorituksia ja niitä analysoidaan opettajan kanssa (Cavitar Ltd 2023b). Hyvin suunniteltu käänteinen oppiminen lisää oppijan motivaatiota ja tyytyväisyyttä (Hyypiä 2019, 26).

Tutkimuksessa hitsauskameran käyttömahdollisuuksista teollisuudessa tehtiin laadullinen tutkimus kuudessa yrityksessä, joista 2 antoi julkaisuluvan artikkelissa (Hirvonen & Kauhanen 2023a, 28–30). AWW Oy:ssa tehtiin koekuvauksia hitsausautomaatissa ja tutkittiin, pystytäänkö hitsauskameran live-kuvan ja tallenteiden avulla AWW Oy tutkimusvideo 1 (Cavitar Ltd 2023c.) ja AWW Oy tutkimusvideo 2 (Cavitar Ltd 2023d.) tehostamaan tuotantoa (Lean Enterprice Institute.) ja hitsauksen laatua (Martikainen 2013.) Muuhun tutkimus dataan tarvitaan erillinen käyttöoikeus.

MV-welding Oy:ssä hitsauskamera integroitiin Best Welder -hitsausmanipulaattoriin (Cavitar Ltd 2023e). Tutkimuksessa oli tavoitteena selvittää hitsauskameralla saatavia hyötyjä mekanioidussa käsin hitsauksessa (Pietarinen 2014) ja pystytäänkö parantamaan hitsausoperaattorin työmuukavuutta (Ira 2021) ja -ergonomiaa (Työturvallisuuskeskus(a)) sekä -turvallisuutta (Työturvallisuuskeskus(b)). Tutkimuksessa tutkittiin myös, pystyykö hitsausoperaattori operoimaan Best Welder -hitsausmanipulaattoria pelkän hitsauskameran live kuvan kautta (Cavitar Ltd 2023f; Cavitar Ltd 2023g; Cavitar Ltd 2023h).

Cavitar Ltd:n Schlieren-kuvantamis ratkaisulla (Cavitar Ltd 2022c.) tutkittiin, miten hitsauskame- roita voi hyödyntää hitsauksen tutkimustyössä. Tutkimuksessa tutustuttiin Schlieren-kuvantamisen mahdollisuuksiin eri tieteellisten tutkimusten pohjalta. (Vikas ym. 2014.) mukaan, ylääänivirtausten visualisointi on mahdollista Schlieren ja PLIF-kuvantamisella. Suojakaasuvirtausten tutkimuksessa on käytetty Schlieren-kuvantamismenetelmää mm. (Monto 2017.) ja (Schnick ym. 2012.) ovat tutkineet Schlieren-kuvauksen hyödyntämistä MAG-hitsauspolttimen rakenteen kehittämisessä. (Bitharas ym. 2016.) tutkivat hitsauksen aikana vaihtuvaa suojakaasua Argon- ja Helium välillä.

(Dreher ym. 2009.) tutkivat suojakaasuvirtausnopeuden vaikutusta suojakaasun peittävyteen hitsauskappaleessa ja turbulenssiin suojakaasuvirtauksissa. (Schwedersky ym. 2021.) tutkivat erityyppisten suojakaasujen soveltuvuutta Schlieren-kuvantamiseen.

Varkaudessa Savon ammattiopiston kone- ja tuotantotekniikka alalla tutkittiin hitsaussuojakaasujen käyttäytymistä TIG- ja MAG-prosesseilla eri tilanteissa ja olosuhteissa (Cavitar Ltd 2023i.) Tutkimuksessa tutkittiin mm. juurikaasusuojatun ruostumattoman teräsputken päittäisliitoksen avaaminen kulmahiomakoneella ja sen vaikutus suojakaasuun (Cavitar Ltd 2023j.) sekä suojakaasun virtausta I-railo MAG-hitsauksessa (Cavitar Ltd 2023k.)

Kohdepoistoimurin käytöllä hitsaustyössä on merkittävä rooli työterveysriskien hallinnassa (Työturvallisuuskeskus(c).) Tutkimme kohdepoistajan etäisyyden vaikutusta suojakaasun suojaavaan vaikutukseen TIG- ja MAG-hitsauksessa. Valitsemme artikkeliin MAG-hitsaus tutkimuksen (Hirvonen & Kauhanen 2024, 25). Kohdepoiston etäisyydellä hitsaustapahtumasta oli suuri merkitys, miten suojakaasu käyttäytyi hitsauksen aikana. Tutkimusvideoita kuvattiin kymmenittäin, joista vain osa on julkaistu. Muut videot tarvitsevat erilliset julkaisuluvat Cavitar Ltd:ltä. Tutkimusvideossa (Cavitar Ltd 2023l.) kohdepoiston etäisyys 120 mm hitsaustapahtumasta. Tutkimusvideossa (Cavitar Ltd 2023m.) ovat täysimittaiset artikkeliin päätyneet tutkimusvideot, joissa kohdepoistojen etäisyydet ovat 120 mm, 160 mm ja 200 mm sekä ei ollenkaan kohdepoistoa. Tutkimustyöllä pystytään kehittämään hitsauskoulutusta (Cavitar Ltd 2023n.) Arcless Academy by Cavitar opetusvideolla havainnollistetaan kohdepoiston etäisyyksien vaikutusta hitsaukseen ja työturvallisuuteen.

3 JULKAISTUJEN ARTIKKELEIDEN JOHTOPÄÄTOKSET

Hitsaava teollisuus uudistuu nopeaa vauhtia, ja uutta teknologiaa tulee markkinoille koko ajan. Kuitenkin perinteinen käsin hitsaus on edelleen elintärkeä taito hitsaavassa teollisuudessa ja osaavista hitsaajista on pula esimerkiksi vaativissa olosuhteissa ja erikoismateriaaleissa. Tästä syystä hitsauskoulutuksen on myös uudistuttava. Uuden teknologian mahdollisuudet voivat tehdä myös hitsaustyöstä vetovoimaisempaa nuorison keskuudessa, ja se voi lisätä alalle hakeutuvien oppijoiden määrää.

Cavitar Ltd:n C300- ja C400-hitsauskameroiden poikkeuksellisen hyvä kuvanlaatu mahdollisti hitsauskoulutuksen kehittämisen aloituksen, jonka tavoitteista artikkelisarja on koottu eri näkökulmista. Tavoitteena on kehittää hitsauskoulutusta Cavitar Ltd:n hitsauskamerateknologian avulla sekä testata hitsauskamerateknologialla saatavia hyötyjä teollisuudessa ja tutkimustyössä.

Hitsauskameraa voi hyödyntää eri kohderyhmissä, joissa koulutus ja tutkimus ovat avainasemassa. Tutkimuksella voidaan kehittää koulutusta ja tehdä koulutuksesta laadukasta. Yritysyhteistyöllä saadaan tietoa, millä tavoin koulutuksen tulisi kehittyä palvelemaan paremmin yritysten tarpeita. Paremmalla koulutuksella oppijalla on mahdollisuus työllistyä yrityksiin ja mahdollisesti edetä omalla urallaan yrittäjyyteen asti. Hitsauskameraa hyödyntämällä teollisuudessa voidaan mahdollisesti pidentää hitsaustyötä tekevän työuraa esimerkiksi siirtymällä käsin hitsaajasta hitsausoperaattoriksi. (Hirvonen & Kauhanen 2023a, 29–30.)

Koulutuksessa hitsauskameran live-kuva pystytään näyttämään isolta näytöltä, jossa hitsauksen yksityiskohdat näkyvät selvästi suurelle määrälle opiskelijoita kerrallaan. Oppijan hitsaussuorituksen tallentaminen sekä hitsauskappaleen ja tallenteen analysointi paljastavat hitsaustekniikassa tapahtuneet virheet. Silloin niihin on helppo puuttua ja oppija näkee sekä hahmottaa omat tekniikkavirheensä jälkikäteen, mikä ei ole mahdollista ilman tallennusta. Hitsausopetusvideoista tai opettajan live-opetuksesta oppija näkee hyvin oikeat hitsaustekniikat. Hitsauskameraa on myös mahdollista hyödyntää visuaalisessa tarkastuksessa. (Hirvonen & Kauhanen 2023b, 17–18; Kauhanen & Kauppila 2022.)

”Hitsauksen opettamisen yksi suurimmista haasteista on yksityiskohtaisten hitsaustapahtuman näyttäminen pienille ja isoille ryhmille. Viiveetön ja tarkka kuva hitsaustapahtumasta mahdollistaa

opettamisen siten, ettei oppilaan tarvitse katsoa kirkasta valokaarta”, kertoo Ville-Pekka Arasmo EveryWeld Oy:stä. (Hirvonen & Kauhanen 2022, 26.)

”Opetuksen näkökulmasta Cavitar hitsauskameralla kuvatuista hitsauksista on erittäin paljon hyötyä, koska se ei ainoastaan tue oppimista, vaan se tuo hitsauksen teoriaopetukseen todellisuutta. Videot ovat hyödyllisiä opetuksen aluksi. Niiden avulla voidaan asettaa tavoitteita, käsitellä joitain tiettyjä hitsin ominaisuuksia ja ne ovat helposti toistettavissa uudelleen oppimisen täydentämiseksi. Hienoimpana ominaisuutena on mahdollisuus käyttää videoita koko ryhmän kanssa, jolloin kaikki voivat olla mukana heti alussa ja aloittaa työskentelyn viivyttämättä toisin kuin perinteisissä pienryhmäopetusmenetelmissä, joissa oppijat mahdollisesti menettävät keskittymisensä”, kertoo Andrew Whitehouse WorldSkills UK Training Manager. (Hirvonen & Kauhanen 2023b, 19.)

Hitsauskameran teollisuuskäytöstä TIG-päittäisliitosautomaatilla ja hitsausmanipulaattoriin integroituna saadaan parempi näkymä live-kuvasta kuin hitsausmaskin läpi katsottuna. Hitsausparametrien säätäminen helpottuu, jolloin tarvitsee tehdä vähemmän kokeiluja. Hitsausvirheet pystytään havaitsemaan reaaliaikaisesti ja niihin pystytään puuttamaan. Työergonomiaan voidaan saada parannusta. Hitsauskameraa hyödyntämällä pystytään saavuttamaan kustannussäästöjä. ”Selkeät kustannussäästöt työn ja tarkastamisen sekä lisääneen ja hitsauskaasujen osalta, varmistaa tuotantosuunnitelman toteuttamisen ja toimitusten varmistamisen”, kertoo Tomi Rosvall AWW Oy:stä. ”Työergonomia on parantunut, koska hitsausoperaattori ei tarvitse katsoa hitsaustapahtumaa läheltä ja on poissa hitsaushuuruista. Cavitar C400-hitsauskameran avulla on helppo opettaa uusia operaattoreita ja käsin hitsaajia, miltä hitsisulan tulisi näyttää hitsauksen aikana”, kertoo Markus Vepsäläinen MV-Welding Oy:stä. (Hirvonen & Kauhanen 2023a, 29–30.)

Schlieren-kuvantamisella pystytään tutkimaan kaikkea läpinäkyvää ainetta, niiden koostumusta ja virtausta. Schlieren-kuvantaminen yhdistettynä valokaaren läpi näkevään laservalaisuun ja suurnopeuskuvaukseen ovat yhdessä erityisen suorituskykyisiä ja tarkkoja kuvantamismenetelmiä. (Hirvonen & Kauhanen 2024, 24–25.)

4 POHDINTA

Artikkelisarja kirjoitettiin osana tutkimustyötä hitsausopetuksen kehittämistä varten. Uusilla teknologioilla ja opetusmenetelmillä on mahdollisuus lyhentää koulutuksen kestoaikaa ja syventää oppimiskokemusta. Parantunut näkymä hitsaustapahtumaan antaa paremmin informaatiota oppijalle. Hitsauskameran live-kuva on tarkempi ja parempi laatuinen kuin hitsausmaskin läpi katsottuna. Hitsauskameran kuvaa voi myös zoomata pieniin yksityiskohtiin. Oppijan hitsaussuorituksen tallentaminen ja analysointi suorituksen jälkeen samalla fyysistä hitsauskappaletta tarkastellen antaa oppijalle syvemmän oppimiskokemuksen. Hitsauskouluttajalla on mahdollisuus hitsauskameran live-kuvan ansiosta opettaa samalla kertaa koko oppimisryhmälle hitsausteknisiä yksityiskohtia. Aikaisemmin yksityiskohdat opetuksessa on ollut yksilöllistä opetusta. Hitsauskoulutuksessa käytettyjen materiaalien, tarvikkeiden ja hitsaussuojakaasujen käytön määrä pienenee nopeamman oppisen myötä, mikä voi tuoda selkeitä kustannussäästöjä.

Hitsauskameran käyttö teollisuudessa parantaa yritysten tuottavuutta, laatua ja tuo selkeitä kustannussäästöjä sekä parannusta hitsausoperaattorin työturvallisuuteen ja fyysiseen ergonomiaan. Parantuneen fyysisen ergonomian myötä on mahdollisuus jopa jatkaa hitsaustyötä tekevän henkilön työuraa, jos fyysiset haasteet aiheuttavat uhkan työuran päättymiselle.

Hitsauksen tutkimustyössä suurnopeus- ja hitsauskameran sekä Schlieren-kuvantamisen hyödyntämisellä voidaan paneutua yksityiskohtiin entistä tarkemmin. Schlieren-kuvantamista voidaan käyttää tutkittaessa kaikkea läpinäkyvää ainetta, niiden koostumusta ja virtausta. Esimerkiksi Schlieren-kuvantamista voi käyttää hitsauksen suojakaasuvirtauksen kuvaamisessa hitsaussuuttimien ja kaasulinssien toiminnan tutkimisessa ja kehittämisessä.

Yhteistyö koulutusten järjestäjien ja yritysten sekä Suomen hitsausteknillisen yhdistyksen kanssa on hitsauskoulutuksen kehittämisen kannalta erittäin tärkeää ja, se mahdollistaa hitsauskoulutuksen jatkuvan kehittymisen. Teknologia kehittyy kiihtyvällä vauhdilla ja sen hyödyntäminen teollisuudessa ja koulutuksessa takaa kilpailukyvyn tulevaisuudessa.

Tämän tutkimuksen myötä on syntynyt uusi tapa opettaa hitsausta. Arcless Academy by Cavitar on alkanut kehittää ja tuottaa uutta hitsausopetusmateriaalia, joka julkaistaan Nordic Welding Ex-

possa Tampereella maaliskuussa 2024. Savon ammattiopisto on Arcless Academyn pilottioppilaitos, jossa uudet hitsausopetusmateriaalit on otettu käyttöön hitsausopetuksessa. (Hirvonen & Kauhanen 2023b, 17.)

LÄHTEET

Bitharas, I. Campbell, S.W. Galloway, A.M. McPherson, N.A. & Moore, A.J. 2016. Visualisation of alternating shielding gas flow in GTAW. Materials & Design article. Hakupäivä 22.12.2023. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026412751530826>.

Cavitar Ltd 2018. Guide to high-quality welding imaging. Cavitar article. Hakupäivä 10.12.2022. https://www.cavitar.com/wp-content/uploads/2018/03/Guide-to-high-quality-welding-imaging_Cavitar_Ltd.pdf.

Cavitar Ltd 2021. Cavitar Welding Camera. Hakupäivä 15.1.2022. <https://www.cavitar.com/product/cavitar-welding-camera/>.

Cavitar Ltd 2022a. Follow The Weld - MAG Robot Welding imaged with Cavitar Welding Camera C300. Hakupäivä 15.1.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=dfW1HiAyoaY>.

Cavitar Ltd 2022b. Pipe Welding with TIG Crystal Clear View (Cavitar Welding Camera C300). Hakupäivä 14.10.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=so6n9MoL4k4>.

Cavitar Ltd 2022c. Cavitar Z-Type Schlieren Imaging Solution - Plug & Play Schlieren System. Hakupäivä 8.1.2024. <https://www.youtube.com/watch?v=egwD2B9ZYp4&t=73s>.

Cavitar Ltd 2023a. Clear TIG welding of Cavitar logo with realxing music. Hakupäivä 4.8.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=wqmfw2L2-GQ>.

Cavitar Ltd 2023b. TIG Welding Mild Steel: Stunning Detail with Cavitar Welding Camera C300. Hakupäivä 20.4.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=kIDzyVHPLxl>.

Cavitar Ltd 2023c. Shy Article Varkaus Test1. Hakupäivä 21.8.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=YH6SvHZcDQ8>.

Cavitar Ltd 2023d. Shy Article Varkaus Test2. Hakupäivä 21.8.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=JKkix5u5Kps>.

Cavitar Ltd 2023e. Enhancing Remote Welding: Prioritizing Welders' Health and Wellbeing (feat @mv-weldingoy5607). Hakupäivä 16.6.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=Z2MIX5UyiWA>.

Cavitar Ltd 2023f. Semi-automated MAG welding with Best Welder Part 1/3: V-Groove Root. Hakupäivä 27.10.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=CTJUdb8l8rY>.

Cavitar Ltd 2023g. Semi-automated MAG welding with Best Welder Part 2/3: V-Groove 2nd Run. Hakupäivä 3.11.2023. https://www.youtube.com/watch?v=lnj_RWTHLrM.

Cavitar Ltd 2023h. Semi-automated MAG welding with Best Welder Part 3/3: V-Groove Face Run. Hakupäivä 10.11.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=GKb1XdL9sa4>.

Cavitar Ltd 2023i. Hidden Secrets of MIG Welding Revealed with CAVILUX lasers (Schlieren Imaging). Hakupäivä 8.5.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=crxBEXqsNIA>.

Cavitar Ltd 2023j. Grinder vs Steel Pipe (CAVILUX lasers and Schlieren Setup). Hakupäivä 15.9.2023. https://www.youtube.com/watch?v=NoBMb_uppPA.

Cavitar Ltd 2023k. Cavitar ArcLess Vision 2: Hidden Secrets of Mag. Hakupäivä 7.7.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=GgdrevTgRS4>.

Cavitar Ltd 2023l. Effects of Fume Extractor on Welding: Visualizing Shielding gas of MAG with CAVILUX lasers. Hakupäivä 13.10.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=moOfSM7-4Hs>.

Cavitar Ltd 2023m. Does fume extractor distance affect welding process? (CAVILUX Lasers and Schlieren Imaging). Hakupäivä 17.11.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=M3y11fX0ISM>.

Cavitar Ltd 2023n. Behind the Gas: GMAW Welding shielding gas visualized and fume extractor tactics exposed!. Hakupäivä 24.11.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=iSlS55Tk4yQ>.

Dreher, M. Füssel, U. Schnick, M & Hertel, M 2009. Numerical simulation of the shielding gas flow with GMA welding and options of validation by diagnostics. Technical University of Dresden article.

Hakupäivä 22.12.2023. https://tu-dresden.de/ing/maschinen-wesen/if/fue/ressourcen/dateien/lichtbogenprozesse/veroeffentlichungen_Dokumente/DR552B1.pdf?lang=en.

Hirvonen, Tatu & Kauhanen, Juha 2022. EveryWeld- intohimona hitsausosaamisen kehittäminen. Hitsaustekniikka-lehti 2022 (5), 25–26.

Hirvonen, Tatu & Kauhanen, Juha 2023a. Cavitar-hitsauskameran käyttö teollisuudessa. Hitsaustekniikka-lehti 2023 (4), 27–30.

Hirvonen, Tatu & Kauhanen, Juha 2023b. Cavitar hitsauskameran käyttö hitsausopetuksen tukena. Hitsaustekniikka-lehti 2023 (1), 17–20.

Hirvonen, Tatu & Kauhanen, Juha 2024. Schlieren-kuvantamisen hyödyntäminen suojaasuviir-
tausten tutkimuksessa. Hitsaustekniikka-lehti 2024 (1), 24–28.

Hyypiä, Mareena 2019. Onnistuneen flippauksen avaimet. Itä-Suomen yliopisto. Filosofinen tiede-
kunta. Soveltavan kasvatustieteen ja opettajankoulutuksen osasto. Pro gradu -tutkielma. Hakupäivä
11.12.2022. https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/21180/urn_nbn_fi_uef-20190257.pdf.

InterTest, Inc. 2021. Weld-i HD Videos. Hakupäivä 15.1.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=JpEZIW-CWb4>.

Ira, Ilva 2021. Järkevää työtä – Teollisuustyöntekijöiden kokemuksia työn mielekkyydestä. Tampe-
reen yliopisto. Yhteiskuntatutkimuksen tutkinto-ohjelma. Pro gradu -tutkielma. Hakupäivä
12.9.2023. <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/131051/IlvaIra.pdf?sequence=2&isAllo-wed=y>.

Kankaanpään yhteislyseo. Oppiminen ja opiskelutekniikat. Verkkojulkaisu. Hakupäivä 11.12.2022.
<https://peda.net/kankaanp%C3%A4%C3%A4/ky/opinto-ohjaus/ojo>.

Kauhanen, Juha & Kauppila, Juha 2022. Cavitar-laservalaisutekniikan hyödyntäminen hitsauksen
laadunvarmistamisessa. Hitsaustekniikka-lehti 2022 (3), 9–11.

Klimek, Elaina 2021. Weld monitoring with cameras, then and now. The Fabricator verkkojulkaisu 21.7.2021. Hakupäivä 10.12.2022. <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/arcwelding/weld-monitoring-with-cameras-then-and-now>.

Lean Enterprise Institute. What is Lean? Verkkojulkaisu. Hakupäivä 3.9.2023. <https://www.lean.org/explore-lean/what-is-lean/>.

Martikainen, Antti 2013. Lean, Six Sigma ja Total Welding Management hitsaavassa verkostossa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Hakupäivä 3.9.2023. https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/92108/Diplomity%C3%B6_Antti%20Martikainen.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Monto, Visa-Valtteri 2017. Schlieren-kuvauksen hyödyntäminen MAG-hitsauspolttimen rakenteen kehittämisessä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Hakupäivä 10.1.2024. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/143948/Schlieren-kuvauksen%20hy%C3%B6dynt%C3%A4minen%20MAG-hitsauspolttimen%20rakenteen%20kehitt%C3%A4misess%C3%A4.pdf?sequence=1>.

Pietarinen, Antti 2014. Käsinhitsauksen mekanisointiratkaisujen kehittäminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Konetekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. Hakupäivä 4.9.2023. <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/96849/K%C3%A4sindhitsauksen%20mekanisointiratkaisujen%20kehitt%C3%A4minen.pdf>.

Retco Oy 2021. MIG/ MAG- hitsaus 2. Hakupäivä 15.1.2022. <https://www.youtube.com/watch?v=rhkVCbc2VCA>.

Retco welding products 2021. ARC Vision Kamera. Hakupäivä 15.1.2022. <https://www.retco.fi/arc-vision-kamera/>.

Schnick, M. Dreher, M. Zschetzsche, J. Fuessel U & Spille-Kohoff, A 2012. Visualization and Optimization of Shielding Gas Flows in Arc Welding. Welding in the world article. Hakupäivä 22.12.2023. https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/if/fue/ressourcen/dateien/lichtbogenprozesse/veroeffentlichungen_Dokumente/SCHNICK-

[-DREHER---ZSCHETZSCHE---FUESSEL---SPILLE-KOHOFF---2012---Visualization-and-Optimization-of-Shielding-Gas-Flows-in-Arc-Welding.pdf?lang=en.](#)

Schwedersky, Mateus Barancelli & Fernandes da Rosa, Álisson & Okuyama, Marcelo Pompermaier & Gonçalves e Silva, Régis Henrique 202. Limitations of the Schlieren technique for shielding gas flow visualization in arc welding processes. ©International Institute of Welding 2021. Verkkojulkaisu. Hakupäivä 22.12.2023. https://www.researchgate.net/publication/349177208_Limitations_of_the_Schlieren_technique_for_shielding_gas_flow_visualization_in_arc_welding_processes.

Tahvanainen, Sini 2022. Lukion vektorikurssin tehtävien sijoittuminen uudistetun Bloomin taksonomian tasoille. Itä-Suomen yliopisto. Matematiikan aineenopettajakoulutus. Pro -gradu. Hakupäivä 15.3.2024. https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/28258/urn_nbn_fi_uef-20221119.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Työturvallisuuskeskus(a). Fyysinen kuormitus. Verkkojulkaisu. Hakupäivä 12.9.2023. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/tyoympariston-turvallisuus/tyokuormituksen-hallinta/fyysinen-kuormitus/>.

Työturvallisuuskeskus(b). Tietokortti kemiallisesta altistumisesta metalli- ja autoalojen työtehtävissä. Hakupäivä 12.9.2023. <https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/04/Hitsaus.pdf>, 1,3.

Työturvallisuuskeskus(c). Tietokortti kemiallisesta altistumisesta metalli- ja autoalojen työtehtävissä. Hakupäivä 12.9.2023. <https://ttk.fi/wp-content/uploads/2022/04/Hitsaus.pdf>, 3.

Vaasan yliopisto 2022. Käänteinen opetus aktivoi opiskelijoita parempiin tuloksiin. Vaasan yliopiston uutishuone verkkojulkaisu. Hakupäivä 11.12.2022. <https://www.uwasa.fi/fi/uutishuone/artikkelit/kaanteinen-opetus-aktivoi-opiskelijoita-parempiin-tuloksiin-flippausta>.

Vikas M Shelar, Shrisha Rao MV, GM Hegde, G Umesh, G Jagadeesh & KPJ Reddy 2014. Acetone planar laser-induced fluorescence for supersonic flow visualization in air and nitrogen jet. International Journal of Mechanical and Materials Engineering. Hakupäivä 10.1.2024. <https://link.springer.com/article/10.1186/s40712-014-0028-1>.

Visible Welding 2017. Vertical Steel MIG Weld (Color). Hakupäivä 15.1.2022. https://www.youtube.com/watch?v=uRWvmk__pho.

Visible welding 2021. WELDWATCH™ Video Monitoring System. Hakupäivä 15.1.2022. <https://visiblewelding.com/>.

Weld-i® 2021. Weld-i® 625 HD Compact Weld Camera System. Hakupäivä 15.1.2022. <https://intertest.com/products/weld-i-625-hd-compact-weld-camera-system>.

Xiris 2021. XVC-1000e/1100e. Hakupäivä 15.1.2022. <https://www.xiris.com/xiris-xvc-1000e/>.

Xiris Automation Inc. 2020. GMAW - Deep Groove Fillet Weld - Stainless - with Laser Line. Hakupäivä 15.1.2022. <https://vimeo.com/425528370>.