



Jan Vehmanen

Yhteistyörobotiikan ja hitsaus- robotiikan vertailu oppilaitoksen hitsauslaboratorion tarpeisiin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

31.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Jan Vehmanen
Otsikko:	Yhteistyörobotiikan ja hitsausrobotiikan vertailu oppilaitoksen hitsauslaboratorion tarpeisiin
Sivumäärä:	30 sivua
Aika:	31.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaaja:	Joel Kontturi

Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen-toimipisteen hitsaus- ja levytyötekniikan laboratorio oli uusimassa hitsaustekniikkaansa, ja oppilaitoksella oli herännyt kiinnostusta yhteistyörobotiikkaan. Hitsausrobotille varattu työtila oli pienehkö, ja oppilaitos oli esittänyt lisätoiveena mahdollisuuden hitsausrailon skannaamiselle sekä metallin 3D-tulostukselle samalla robotilla.

Työn tavoitteena oli valita oppilaitokselle sopivin hitsausjärjestelmä. Työssä vertailtiin erilaisia hitsaus- sekä yhteistyörobotteja oppilaitoksen tarpeiden mukaisesti. Vertailussa keskityttiin erityisesti soveltuvuuteen opetuskäytössä ja sopivuuteen robotille varattuun tilaan, lisätoimintojen toteutukseen sekä hinta-arvioon. Erityisesti kiinnitettiin huomiota muun muassa oppilaitoksella testissä olleisiin robotteihin sekä muiden oppilaitosten käytössä oleviin järjestelmiin.

Työn aikana suoritettiin selvitystyötä verkossa ja haastateltiin palveluntarjoajia. Lisäksi etsittiin aiempia tutkimuksia aiheesta, tarkasteltiin muiden oppilaitosten ratkaisuja sekä testattiin hitsauslaboratoriossa yhteistyörobotin käyttöä ja suorituskykyä.

Yhteistyörobotiikalla hitsaaminen osoittautui koululle sopivaksi vaihtoehdoksi, mutta metallin 3D-tulostus ja railonseuranta eivät olleet järkevästi toteutettavissa. Näiden lisätoimintojen toteutus onnistui teollisuushitsausrobotilla, mutta tämä oli hinnakkaampi vaihtoehto. Teollisuusrobotti tarjosi myös yhteistyörobottia vastaavia ominaisuuksia, kuten ohjausradan piirtäminen käsivartta raahaamalla sekä liikeradalla olevien esteiden tunnistaminen laserantureilla, mutta nämä lisäominaisuudet vaativat lisäinvestointeja.

Oppilaitokselle jäi päätettäväksi, sijoitetaanko edullisempaan, tulevaisuutta edustavaan vaihtoehtoon eli yhteistyörobottiin vai hinnakkaaseen, mutta varmaan ja kaiken kattavaan perinteiseen hitsausrobottiin.

Avainsanat: cobotti, kobotti, yhteistyörobotti, hitsausrobotti, hitsaaminen

Abstract

Author: Jan Vehmanen
Title: Comparison of collaborative robotics and industrial welding robotics for the needs of a welding laboratory in an educational institution
Number of Pages: 30 pages
Date: 31 May 2023

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Automotive engineering
Professional Major: Automotive design
Supervisor: Joel Kontturi

The welding and sheet metal work laboratory at Metropolia University of Applied Studies was updating their welding equipment and was highly interested in cobotics. But the laboratory has certain requirements that a cobot might not be capable of fulfilling, such as metal 3D printing and weld pool tracking. However, a cobot would have been the optimal solution considering the small space it was allocated in the laboratory and for educational purposes.

The aim of the thesis was to select the most suitable welding robot for the university. The project compared different welding robots and collaborative robots with the university's requirements in mind. The comparison focused on the suitability of the robot for educational use, the space allocated for the robot, the implementation of additional required functions and the cost evaluation. Especially the robots tested at the institution and the robots in use at other institutions were considered.

During the thesis, online research and interviews with service providers were carried out. In addition, previous studies on the subject were researched, solutions from other institutions were examined and the use and performance of the collaborative robot was tested in the welding laboratory.

Collaborative welding proved to be a suitable option for the university, but 3D printing of metal and tracking of the weld pools were not feasible for a cobot. These additional functions could be performed with an industrial welding robot, but this was a more expensive option. The industrial robot also offered features similar to a collaborative robot, such as the capability to drag the arm to draw a welding path, and laser-sensors that sense obstacles in the path, but these additional features required additional investment.

It was up to the school to decide whether to invest in the cheaper and more progressive option in a collaborative robot, or the safe and all-capable industrial welding robot.

Keywords: cobot, collaboration robot, welding

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hitsaaminen robotilla	3
2.1	Hitsausrobotti	3
2.2	Kaarihitsausmenetelmät	3
3	Oppilaitoksen tarpeet	5
3.1	Hitsausrailon skannaaminen	5
3.2	Metallin 3D-tulostaminen MIG-hitsausjärjestelmällä	6
3.3	Hitsausrobotille varatun tilan tuomat rajoitukset	6
4	Yhteistyörobotiikka	8
4.1	Yhteistyörobotin toiminta	8
4.2	Sovelluskohteet	11
4.3	Hitsaaminen yhteistyörobotilla	14
4.4	Hitsausyhteistyörobotti Metropolian kokeilussa	15
5	Vertailtavat hitsausrobotit ja hitsaustyökalut	18
5.1	Robotit	18
5.2	Hitsausjärjestelmät	20
5.3	Railonseurantajärjestelmät ja laadunvalvonta	21
5.4	Metallin 3D-tulostusmahdollisuudet	24
6	Pohdinta	27
6.1	Työtila	27
6.2	Käyttäjäturvallisuus	27
6.3	Luotettavuus	27
6.4	Lisävarusteet ja käyttökohteet	28
6.5	Hinta	28
6.6	Tulevaisuus	28
7	Johtopäätös	30
	Lähteet	1

Lyhenteet ja käsitteet

- CMT: *Cold metal transfer*. Hitsausprosessi, jossa lisäainelangan syöttö katkeaa kosketusten välillä ja täten estää työkappaletta lämpenemästä.
- MAG: *Metal active gas welding*. Hitsausprosessi, jossa hitsauslämpötila tuotetaan lisäainelangan ja työkappaleen välisellä oikosululla. Suojakaasu osallistuu aktiivisesti hitsausprosessiin.
- MIG: *Metal inert gas welding*. Hitsausprosessi, jossa hitsauslämpötila tuotetaan lisäainelangan ja työkappaleen välisellä oikosululla. Suojakaasu on inertti eikä ota osaa hitsausprosessiin.
- TIG: *Tungsten inert gas welding*. Hitsausprosessi, jossa hitsauslämpötila tuotetaan volframielektrodin ja työkappaleen välisellä oikosululla. Suojakaasu on inertti eikä ota osaa hitsausprosessiin.
- UGV: *Unmanned ground vehicle*. Miehittämätön, autonominen ajoneuvo.
- Cobotti: *Cobot; Collaborative robot*. Yhteistyörobotin epävirallinen suomenkielinen nimitys; myös *kobotti*.
- Railo: Kahden hitsaamalla yhteen liitettävän kappaleen välinen rako, joka täyttyy lisäaineella hitsauksen aikana.
- FDM: *Fused deposition modeling*. 3D-tulostusmenetelmä, jossa materiaalia pursotetaan suuttimella.

1 Johdanto

Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen-toimipisteen hitsaus- ja levytyötekniikan laboratorio on uusimassa hitsaustekniikkaansa, ja oppilaitoksella on herännyt kiinnostusta yhteistyörobotiikkaan eli kobottiin. Tämä on kuitenkin vielä hyvin tuore ja vähän tutkittu ilmiö, ja perinteinen teollisuushitsausrobotti voi olla soveltuvampi oppilaitoksen tarpeisiin. Hitsausrobotille varattu työtila on pienenkö, ja oppilaitos on esittänyt lisätoiveena mahdollisuuden hitsausrailon skannaamiselle sekä metallin 3D-tulostukselle samalla robotilla. Alla näkyy ProWeldin hitsausyhteistyörobotti, joka oli esillä Metropoliaassa helmikuun alussa 2023.



Kuva 1. ProWeldin hitsausyhteistyörobotti esillä Metropolian Leiritien toimipisteessä 7.2.2023.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia yhteistyörobotiikan etuja ja heikkouksia muihin kevyisiin teollisuusrobotteihin nähden ja vertailla eri vaihtoehtoja oppilaitoksen tarpeiden kannalta. Työn aikana suoritetaan selvitystyötä verkossa ja haastatellaan palveluntarjoajia. Lisäksi etsitään aiempia tutkimuksia aiheesta, tarkastellaan muiden oppilaitosten ratkaisuja sekä testataan hitsauslaboratoriossa yhteistyörobotin käyttöä ja suorituskykyä. Robotin tulee kyetä suorittamaan sekä oppilaiden että levytyölaboratorion asiakkaiden hitsaustehtäviä. Oppilaitoksen vaatimuksista lisää kappaleessa 3.

2 Hitsaaminen robotilla

2.1 Hitsausrobotti

Hitsausrobotit ovat automatisoituja hitsaustyökaluja, joiden autonomista työtä voidaan ohjelmoida kappaleen materiaalin ja muodon sekä tehtävän mukaan. Roboteilla voidaan tuottaa tarkkoilla hitsausparametreilla siistiä ja katkoksetonta jälkeä. Hitsausrobottien suosio teollisuudessa kasvaa erityisesti massatuotannossa mutta myös pienemmissä tuotantoerissä. Hitsausrobotit voivat olla täysin autonomisia, kuten autoteollisuudessa liukuhihnan äärellä työskentelevät, samaa ennalta määrättyä liikerataa jatkuvasti toistavat teollisuushitsausrobotit tai kevyet teollisuusrobotit, jotka suorittavat tehtävänsä häkissä, johon ihminen ei pääse väliin kesken prosessin. Pientuotannossa suositaan kasvattavat kevyet käsivarsirobotit. Yhteistyörobotiikka on tällä rintamalla uusinta tekniikkaa, jossa korostuu joustavuus, monipuolisuus, helppokäyttöisyys ja turvallinen työskentely ihmisen kanssa. Yhteistyörobotiikasta kerrotaan lisää neljännessä luvussa.

Yleisimmät hitsausrobotit ovat kuusiakselisia käsivarsirobotteja, jotka pääsevät paikkoihin ja asentoihin, joihin ihmisen on hankalaa ja epäergonomista taipua. Hitsausrobotit ovat nopeita, tarkkoja ja tehokkaita ja vähentävät muuttujia hitsauksen aikana. Hitsausrobotteja voidaan soveltaa muun muassa piste-, plasma-, MIG-, TIG-, CMT- ja laserhitsaukseen. Robottihitsausta käytetään enimmäkseen massatuotannossa, mutta robotteja voidaan ohjelmoida myös yksittäiskappaleiden tarpeisiin. (Robottihitsaus. Hitsausaapinen 2022.) Sovelluskohteista lisää luvussa 4.2.

2.2 Kaarihitsausmenetelmät

Kaarihitsaaminen saa nimensä valokaaresta, joka syntyy, kun hitsauspuikon elektrodin ja työkappaleen välille syntyy oikosulku. Tämä valokaari sulattaa metallit toisiinsa. Kaarihitsausmenetelmiä ovat muun muassa puikkohitsaus eli MMA, MIG/MAG-hitsaus, TIG-hitsaus, ja CMT-hitsaus. (7 Common Types of Robotic Welding Processes and When They're Used 2017.)

MIG- ja MAG-hitsausmenetelmissä oikosulku syntyy metallisen lisäainelangan ja kappaleen väliin. Nämä ovat yleisimpiä ja monikäyttöisimpiä hitsausmenetelmiä nopean ja puhtaan hitsin vuoksi. MIG- ja MAG-hitsauksen erottaa suoja-kaasu. MIG-hitsauksessa suojakaasu on inertti eikä osallistu hitsausprosessiin, kun taas MAG-hitsauksessa suojakaasu on jatkuvasti aktiivinen osa prosessia. (Haapala 2020: 11–12; 7 Common Types of Robotic Welding Processes and When They're Used 2017.)

TIG-hitsaus on siisti, mutta hidas kaarihitsausmenetelmä, jossa oikosulku syntyy volframielektrodin ja kappaleen väliin ja ympäröidään suojakaasulla. Suojakaasuna käytetään yleisimmin argonia. TIG-hitsaus korostaa tarkkuutta ja laadukasta jälkeä. (7 Common Types of Robotic Welding Processes and When They're Used 2017.)

CMT-hitsaus on kaarihitsausmenetelmä, jossa hitsausrobotti tunnistaa oikosulun ja vetää lisäainelangan pois työkappaleesta antaen hitsin jäähtyä ennen seuraavaa kosketusta. Tällä estetään kappaleen muodonmuutoksia ja hitsikohdan liiallista sulamista. Työn jälki on siistimpää ja vahvempaa kuin perinteisellä kaarihitsausmenetelmällä. CMT-hitsaus suoritetaan useimmiten hitsausrobotilla, sillä lisäainelangan syötön säätely vaatii erityistä tarkkuutta. Menetelmässä korostuu hitsausparametrien tarkka määrittäminen, sillä väärä kaaren pituus tai lisäaineen syöttönopeus vaikuttavat huomattavasti lopputulokseen. Menetelmä sopii erityisesti ohuille metalleille, joissa hitsisauma saattaa palaa kappaleen läpi, ja täten yli 10 mm paksut metallit eivät koe menetelmästä vastaavia hyötyjä. (CMT – Cold Metal Transfer: The cold welding process for premium quality. 2022.)

3 Oppilaitoksen tarpeet

Metropolia Ammattikorkeakoulun Myyrmäen-toimipisteen hitsauslaboratorio on sekä oppilaiden että ulkoisten asiakkaiden käytössä. Opetuksen ohella teetetyt työt ovat pääosin pieniä ja mahdollisesti haastavia ja moniulotteisia. Hitsattavat kappaleet ovat pääosin ohuita, ja materiaalit saattavat vaihdella valuraudasta teräkseen ja alumiiniin. Hitsausrobotin valinnassa korostuu helppokäyttöisyys, turvallisuus sekä mahdollisuus koulutuskäyttöön. Erityistoiiveena on esitetty myös mahdollisuus hitsausrailon skannaamiseen ja metallin 3D-tulostukseen. Hitsausrobotille varattu tila on pienehkö, mikä rajoittaa robotin valintaa.

3.1 Hitsausrailon skannaaminen

Railo on ”liitettävien työkappaleiden sovite, kun erilliset osat on valmisteltu ja koottu sopivasti” (SFS 3052: 22). Toisin sanoen railo on se rako työkappaleiden välillä, joka täytetään kappaleet toisiinsa liittäväällä hitsisaumalla. Normaalisti hitsausrobotti tunnistaa hitsattavan kohteen, kun tietokoneelle syötetään työkappaleen 3D-muotti, josta robotti tunnistaa hitsausrailojen paikkatiedot ja laskee hitsausreitit valmiiksi. Railon seuranta järjestelmällä näitä tietoja ei tarvita, sillä robotti skannaa fyysisestä työkappaleesta hitsausrailot ja täten korjaa itse reittiään reaaliajassa. Railon seuranta tapahtuu yksinkertaisimmillaan koskettamalla kappaleita hitsauslangalla tai hitsauspuikolla, joilla hitsausrobotti saa railon paikkatiedon. Railoa skannaamalla kameroilla tai laserilla tietokone voi luoda 3D-kartan, josta se tunnistaa hitsattavan railon ja adaptiivisesti ohjelmoi hitsausrobotin radan railon mukaiseksi. Tällöin hitsausrataa ei tarvitse määritellä etukäteen kappaleen 3D-mallista. Railoa skannaamalla kerätään myös mittadataa, jonka avulla voidaan säätää hitsausparametrit. Laserskannausjärjestelmällä voi myös jälkikäteen tarkistaa hitsauksen laadun kuvaamalla valmista hitsisaumaa. (Laakso 2020: 19; Tietäväinen 2015: 22.)

3.2 Metallin 3D-tulostaminen MIG-hitsausjärjestelmällä

MIG-hitsausjärjestelmän erikoisominaisuus on kyky 3D-tulostaa metallia lisäänetta käyttäen. MIG-hitsausjärjestelmällä tulostaminen on huomattavasti halvempi ratkaisu kuin 3D-metallintulostin, mutta lopputuote on hyvin karkea ja epätasainen esimerkiksi FDM-tulosteeseen verrattuna. Mikäli käyttötarkoitus ei vaadi erityistä tarkkuutta, MIG-hitsausjärjestelmällä tulostaminen on hyvin edullinen vaihtoehto.

3.3 Hitsausrobotille varatun tilan tuomat rajoitukset

Käytettävissä oleva tila asettaa hitsausrobotille seuraavat vaatimukset:

- Hitsausrobotille varattu huoneen nurkka on noin 2 metriä leveä, ja syvyyttä työtilalla on noin 1,5 metriä, ennen kuin muut huoneessa olevat työkalut tulevat eteen. Tämä rajaa voimakkaasti tilaan sopivan hitsausrobotin valintaa, ellei robotille löydetä tilavampaa työpistettä. Yhteistyörobotiikka on tässä mielessä hyvä vaihtoehto, sillä yhteistyörobotti ei vaadi tilaa vievää suoja-aitaa tai turva-aluetta.
- Huoneessa on ikkunat kahdella seinämällä, jotka tulisi hitsauksen aikana peittää ikkunan toisella puolella työskentelevien henkilöiden näön suojaamiseksi. Hitsausverhojen asentamisen hitsausrobotin ympärille ei kuitenkaan pitäisi olla este. Hitsausrobotit ovat usein omassa kaapissaan, mikä ajaa saman asian, mutta esimerkiksi yhteistyörobotti työskentelee vapaasti avoimella pöydällä ja täten vaatii erillisen verhon.
- Katossa ei ole tukevaa ripustusta käsivarsirobotin hitsaimen langanjohtimelle, vaan sellainen tulisi joko asentaa kattoon tai tulisi rakentaa tukeva teline robotin yläpuolelle.
- Huoneessa on vain 16 ampeerin pistorasia, ja lähimpään 32 ampeerin pistorasiaan on huomattava matka. Jatkojohto jää myös ikävästi

laboratorion vilkkaimmalle kulkureitille. Oppilaitos on kuitenkin valmis asentamaan huoneeseen 32 ampeerin virtasyötön, mikäli valittu hitsausrobotti sen vaatii.

- Huoneessa on hiontalaitteita, jotka tuottavat huomattavia määriä pölyä. Käsivarsirobotit, erityisesti yhteistyörobotit, eivät pidä pölyisistä työympäristöistä, sillä pöly rasittaa käsivarren niveliä ja lyhentää huomattavasti robotin elinikää. Omassa suojatussa tilassaan työskentelevä teollisuusrobotti olisi siis tässä työtilassa paremmin suojattu pölyltä kuin vapaasti avoimella pöydällä työskentelevä yhteistyörobotti.

4 Yhteistyörobotiikka

Yhteistyörobotti eli cobotti tai kobotti on ihmisen kanssa vuorovaikutuksessa ja yhteistyössä toimimiseen suunniteltu robotti. Nimi tulee englannin kielen sanoista *cooperation robot* eli yhteistyörobotti tai *collaborative robot* eli yhteistoinnallinen robotti. Termillä viitataan yleisimmin teollisuudessa pieniin käsivarsirobotteihin tai ihmisten keskuudessa lattialla kulkeviin mobiilirobotteihin, kuten monille kotitalouksille tuttu Roomba eli autonominen imurirobotti. Cobotti/kobotti-termiä on käytetty useasti aiemmassa kirjallisuudessa ja kandidaattitöissä, mutta Kielitoimiston sanakirja ei kuitenkaan vielä tunnista kyseistä sanaa, joten tässä luvussa käytetään virallisempaa käsitettä yhteistyörobotti.

Yhteistyörobotiikka yhdistää ihmisen ja automaation edut mahdollistamalla ihmisen ja teollisuusrobotin sujuvan vuorovaikutuksen ja soveltuu erityisesti dynaamisiin ja vaihteleviin ympäristöihin. Yhteistyörobotia ei siis ole suunniteltu ihmisen korvaamiseen, vaan yhteistyörobotti avustaa ihmistä hankalissa ja ergonomisesti raskaissa tehtävissä kuten hankalaa työasentoa tai jatkuvaa toistoa vaativissa töissä. (Greenspan ym. 2020 56 & 109; Jalloh 2020 1; Liljaniemi 2020 & 2021; Pöysti 2020; Tuominen 2022; Välikylä 2019 1 & 6.)

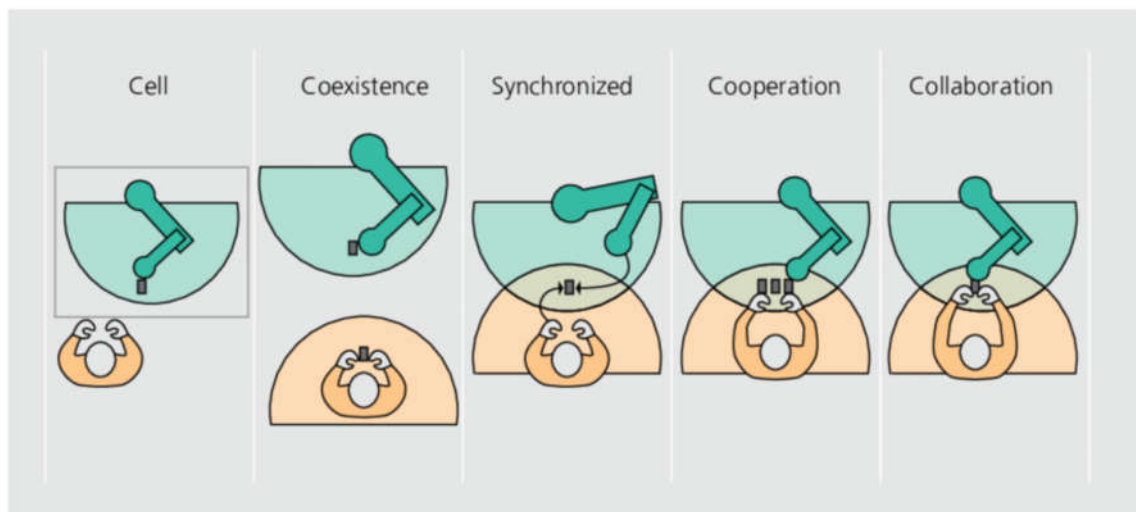
4.1 Yhteistyörobotin toiminta

Yhteistyörobotin ohjelmointi on intuitiivisempaa kuin teollisuusrobotin, joka usein vaatii asiantuntijan ohjelmoimaan robotin käyttöjärjestelmää. Yhteistyörobotin työskentely on sovelluksesta riippuen käsin ohjattavissa, ja monimutkaisetkin tehtävät voidaan ohjelmoida kädestä pitäen liikeradat piirtämällä. Yhteistyörobotin nivelissä on voima-anturit ja pinnoissa kosketusanturit, jotka havaitsevat käsivarren liikerataan vaikuttavia muutoksia. Yhteistyörobotti keskeyttää työnsä, mikäli ihminen fyysisesti estää robotin autonomisen liikkumisen liikeradallaan esimerkiksi osumalla yhteistyörobotin käsivarteen. Standardissa ISO/TS 15066 määritellään yhteistyörobottien riskiarviot antamalla sallitut raja-arvot niveliin kohdistuvan voiman ja pintoihin kohdistuvan paineen suhteen. (Greenspan ym.

2020 56 & 109; ISO/TS 15066:2016:6–15; Pöysti 2020; Tuominen 2022; Välikylä 2019 7–10.)

Yhteistyörobottien turvallisuusvaatimuksia on määritetty standardeissa ISO 10218-1 ja ISO 10218-2, jotka jakavat yhteistyörobotit neljään turvallisuustasoon. Ensimmäinen taso on robotin turvapysäytys ihmisen tullessa prosessityötilaan. Robotti jatkaa prosessia ihmisen poistuessa. Toinen taso on käsiohjaus, jota voidaan käyttää liikeradan ohjelmoinnissa. Kolmas taso on nopeuden ja etäisyyden monitorointi. Tällöin robotti nopeutuu tai hidastuu ihmisen läheisyyden perusteella. Neljäs taso on robotin pinnassa ja nivelissä olevat painesensot. Tämän takia yhteistyörobotti on turvallinen yhteistyökumppani, joka ei tarvitse omaa turva-alueitaan tai suoja-aitoja toisin kuin perinteiset kevyet teollisuusrobotit, jotka ovat yleensä hädkeihin lukittuna tehtaan peräseinällä poissa ihmisten ulottuvilta. (SFS-EN ISO 10218-1:7–18 2011; SFS-EN ISO 10218-2:9–16 2011.)

Alla olevassa kuvassa (kuva 2) on esitetty robotin ja ihmisen yhteistyö viidellä eri tasolla.



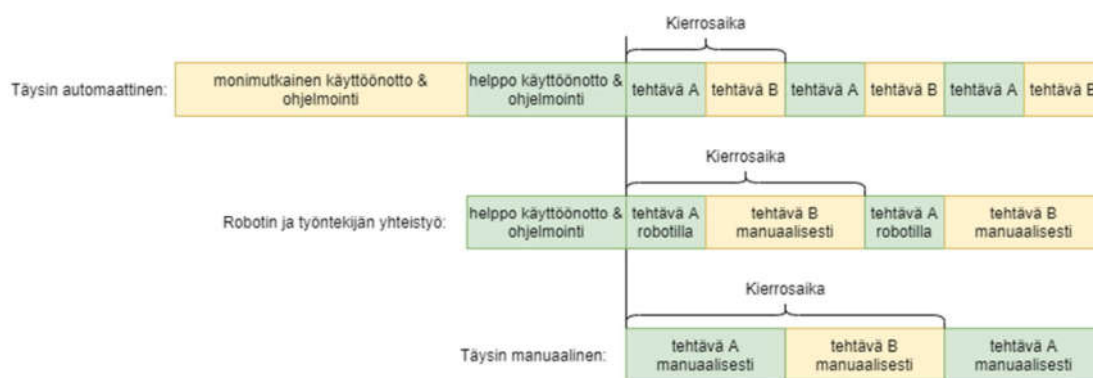
Kuva 2. Ihmisen ja robotin välinen yhteistyö jaettuna tasoihin (Bauer ym. 2016: 9).

Ensimmäinen taso on teollisuusroboteille tyypillinen eristetty häkki, jossa ihminen ei pääse fyysisesti prosessitilaan robotin ollessa päällä. Toinen taso on tila,

jossa yhteistyörobotti ja ihminen kykenevät työskentelemään samassa tilassa. Kolmas taso on vuorotyö, jossa ihminen ja yhteistyörobotti käsittelevät samaa työkappaletta vuorotellen. Neljännellä tasolla yhteistyörobotti ja ihminen käsittelevät erää työkappaleita yhteistyöllä mutta eivät koske samaan yksittäiseen työkappaleeseen yhtä aikaa. Viidennellä tasolla ihminen ja yhteistyörobotti käsittelevät samaa työkappaletta yhtä aikaa. (Bauer ym. 2016 8–9.)

Yhteistyörobotin autonominen työskentely voi olla nopeaa ja tarkkaa mallista riippuen, mutta kaikkien yhteistyörobottien toiminta ihmisen läheisyydessä on huomattavasti hitaampaa turvallisuussyistä. Yhteistyörobotti on myös pieni ja helposti siirrettävä laite, jonka uudelleenohjelmointi uudessa työpisteessä tai kesken työtehtävän on nopeaa ja helppoa. Yhteistyörobotti vapauttaa työntekijän suorittamaan muita työvaiheita kuten valmistelemaan seuraavaa kappaletta, sillä aikaa kun yhteistyörobotti käsittelee autonomisesti edellistä kappaletta. Tämä nopeuttaa tuotantoa ja vähentää työntekijän työtaakkaa ja on siksi teollisuudessa kasvavassa suosiossa. (Jalloh 2020 2; Liljaniemi 2020 & 2021.)

Alla oleva kuva 3 on Antonellin ym. (2016) tutkimuksesta, jossa verrataan automatisoidun, manuaalisen ja yhteistyörobotiikan ohjelmointiin ja käyttöön kuluvia aikoja.



Kuva 3. Aikavertailu työtapojen välillä (Antonelli ym. 2016 26).

Kuvassa tehtävä A on helposti ohjelmoitava ja tehtävä B on monimutkaisempi ja hankalammin ohjelmoitava. Kuva korostaa yhteistyörobotin etuja helppossa

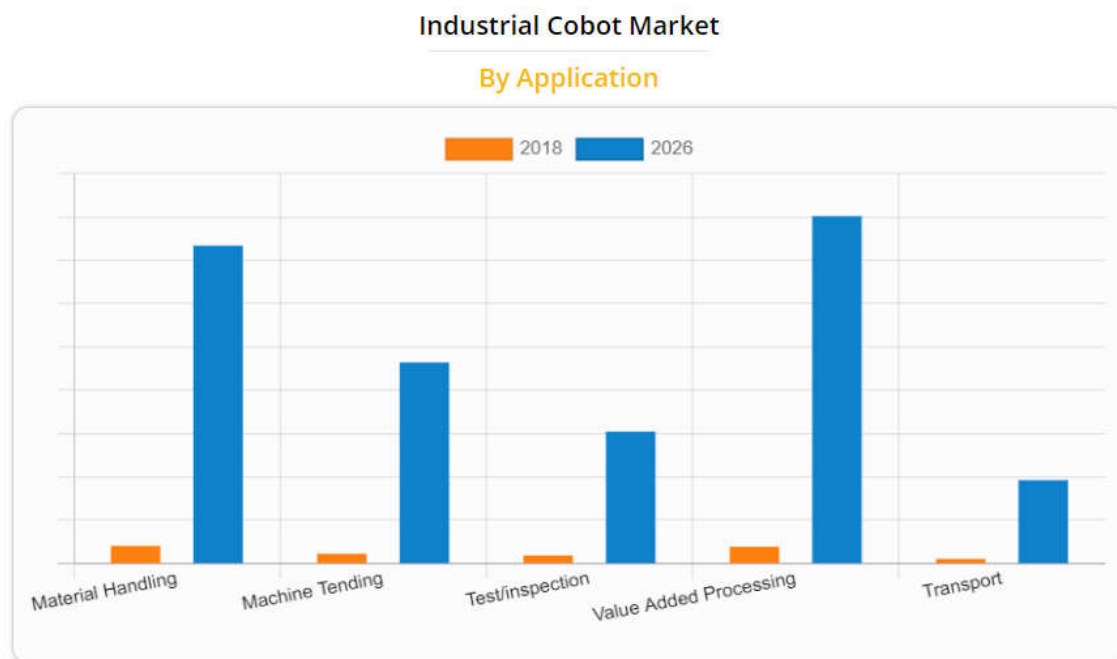
ohjelmoinnissa ja nopeassa käyttöönotossa ilman, että se korvaa ihmisen manuaalista työpanosta monimutkaisemmassa tehtävässä B. Täysin automatisoitu teollisuusrobotti suorittaa nopeammin ja tehokkaammin molempia tehtäviä autonomisesti mutta vaatii monimutkaista ja pitkäjänteistä ohjelmointia. Tämä täysin automatisoitu sykli korvaa kokonaan ihmisen manuaalisen työpanoksen. (Antonelli ym. 2016 26–28.)

4.2 Sovelluskohteet

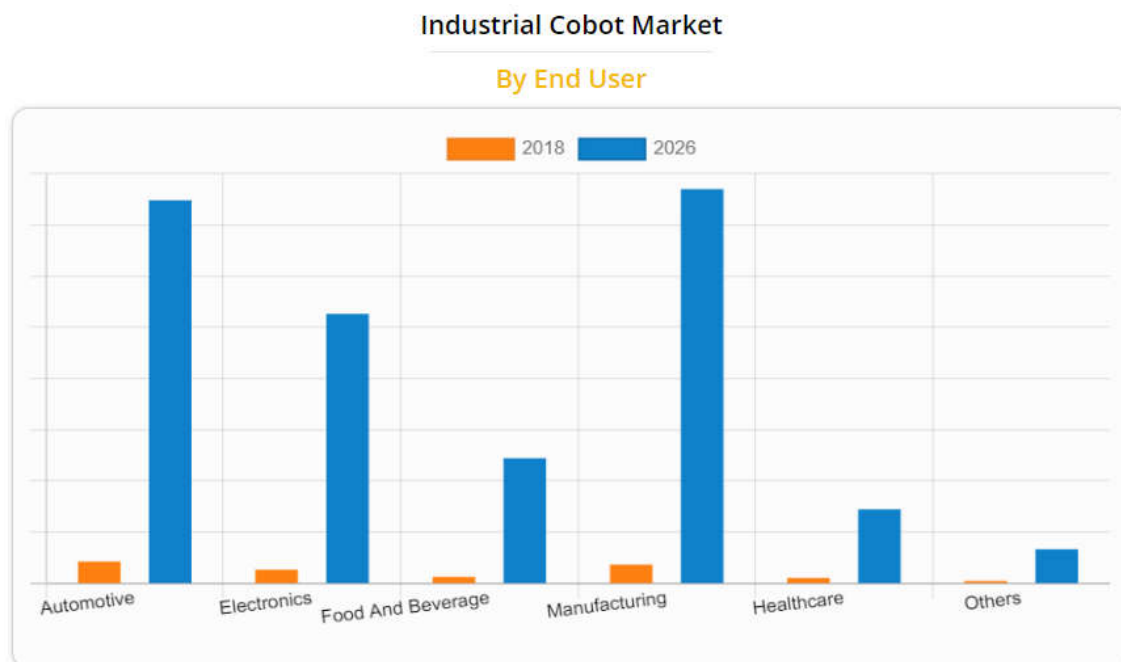
COVID-19-pandemian jäljiltä yritysten digitalisointi on kiihtynyt ja tehostunut, ja niin suuret kuin pienemmätkin yritykset sijoittavat teollisuusrobotiikkaan. Yhteistyörobotti on robotiikan uusinta teknologiaa, ja yhteistyörobotiikan käyttökohteet ja sovellukset ovat vielä selvityksen alla. Yhteistyörobottiteknologiaa tarjoavien yritysten yleisin vastaus onkin, että yhteistyörobotti soveltuu vähän kaikkeen. Esimerkiksi Youtubesta löytyy video, jossa Universal Robots -yrityksen UR3-yhteistyörobotti keittää ja tarjoilee kupin kahvia tarttumistyökalun avulla. Metropoliassa on kokeiltu erilaisia tarttumis-, siirto-, ja kantamistehtäviä eri yrityksille käyttäen muun muassa ABB:n kaksikäätistä YuMi-yhteistyörobottia tai luotu mobiilirobotteja asentamalla Omronin yhteistyörobotti autonomisen UGV-robottiajoneuvon selkään. Monet asiantuntijat ovat myös ennustaneet yhteistyörobotiikan olevan autotehtaiden tuotantolinjojen tulevaisuutta.

Yhteistyörobotti ei korvaa ihmistä työpaikalla samalla tavalla kuin täysin autonominen teollisuusrobotti vaan avustaa ihmistä hankalissa ja ikävissä tehtävissä. Täten on turha pelätä yhteistyörobottien vievän töitä ihmisiltä, vaan yhteistyörobotiikka luokkin uusia työpaikkoja. Suurin haaste onkin uudelleen kouluttaa työntekijät käyttämään ja hyödyntämään huippumoderneja robotteja. (Jalloh 2020 2; Liljaniemi 2020 & 2021; Svahn 2022; Välikylä 2019 1.)

Alla olevissa kuvaajissa näkyy Allied Market Researchin vuoden 2020 tutkimustuloksiin perustuvat ennustukset yhteistyörobottien käytöstä eri aloilla; kuva 4 näyttää ennusteet käyttökohteiden mukaan ja kuva 5 ennusteet käyttäjien mukaan.



Kuva 4. Yhteistyörobottien tulevaisuus käyttökohteiden mukaan (Asavari & Viineet 2020):



Kuva 5. Yhteistyörobottien tulevaisuus käyttäjien mukaan (Asavari & Vineet 2020).

Yhteistyörobotiikan suurimpana haasteena tällä hetkellä on asennuksen ja käyttöönoton korkeat kustannukset. Tämän vuoksi yhteistyörobotiikan soveltaminen henkilökohtaiseen harrastekäyttöön on hyvin epätodennäköistä. Parhaimmat sovelluskohteet yhteistyöroboteille ovat Allied Market Researchin tekemän tutkimuksen mukaan teollisuudessa materiaalinkäsittelyssä ja jalostuksessa, etenkin ajoneuvo-, rakennus-, ja elektroniikkatuotannossa.

Toinen huomattava haaste yhteistyörobotiikassa on tekniikan uutuudenkankeus. Järjestelmissä esiintyy huomattavasti enemmän bugeja kuin perinteisissä teollisuusroboteissa, jotka ovat olleet olemassa huomattavasti pidempään ja täten ovat kehittyneempiä ja varmempia työkaluja. Yhteistyörobotiikka on kuitenkin nopeasti kehittyvä robotiikan ala ja saattaa saavuttaa perinteiseen robotiikkaan verrattavissa olevan toimintavarmuuden parissa vuodessa. Tällä hetkellä yhteistyörobotiikkaan sijoittaminen on kuitenkin vielä tulevaisuuteen sijoittamista, ja perinteinen teollisuusrobotiikka on toistaiseksi vielä varmempaa ja turvallisempaa. (Asavari & Vineet 2020.)

4.3 Hitsaaminen yhteistyörobotilla

Teollisuusrobotit soveltuvat parhaiten massatuotantoon, jossa korvataan ihmisen työpanos nopeammalla ja tarkemmalla automatisoidulla prosessilla. Teollisuusrobotilla hitsaamisessa korostuu työkappaleen esivalmistelun tärkeys, sillä mikäli kappaleet ovat mitoitettu oikein, robotti voi suorittaa samoilla asetuksilla useita hitsauksia peräjälkeen. Yhteistyörobotti on kevyttä teollisuusrobottia joustavampi ja soveltuu paremmin vaihteleviin työtehtäviin ja -ympäristöihin. Yhteistyörobotti sopii erityisesti pieniin ja monimutkaisiin hitsaussarjoihin, ja se on helppo uudelleenohjelmoida jokaista kappaletta varten erikseen. Yhteistyörobotti vapauttaa työntekijän suorittamaan muita työvaiheita sillä aikaa, kun yhteistyörobotti hitsaa työkappaletta. Yhteistyörobotti pääsee hitsaamaan paikkoihin ja asentoihin, mihin ihmisen on hankala päästä. Yhteistyörobotin liikerata voidaan ohjelmoida tietokoneella, käsikonsolilla tai robotin käsivarresta kiinni pitäen opettamalla. Yhteistyörobotti ei vaadi turva-aluetta tai suoja-aitaa työntekijän suojaamiseen vaan toimii turvallisesti ihmisen läheisyydessä. Yhteistyörobotti soveltuu erityisesti opetuskäyttöön, sillä yhteistyörobotin työskentely vaatii oppilaan osallistumista eikä robottia voi jättää tekemään työtä yksin. Lisäksi oppilaat saavat ensi käden kokemusta tulevaisuuden teknologiasta. (Jalloh 2020 2–3; Rahkolin ym. 2020.)

4.4 Hitsausyhteistyörobotti Metropolian kokeilussa

Metropolian oppilaitoksella on ollut syksyllä 2022 kokeilussa Universal Robots -yrityksen UR10e-yhteistyörobotti, joka käytti SmoothTool-työkalua ja Kempin hitsauslaitteistoa (kuva 6). Yhteistyörobotin parissa työskenteli konetekniikan työryhmä, joka sisälsi sekä innovaatioprojektin tekijöitä että kandidaatintyön tekijöitä.



Kuva 6. Universal Robots UR10e -yhteistyörobotti Kempin hitsausjärjestelmällä Metropolian Leiritien-toimipisteessä.

Yhteistyörobotti on päässyt pääasiassa MIG-hitsaamaan hankalan muotoisia kappaleita, jotka vaativat sekä suoria että kaarevia pienahitsejä T-liitoksiin (kuva 7). Yhteistyörobottiin liitettyllä tietokoneella voidaan valita hitsausteknisiä säätöjä, kuten valokaaren pituutta, langan syöttöä tai etenemisnopeutta. Hitsauksen ohjelmointi voidaan suorittaa kolmella eri tavalla: tietokoneella, yhteistyörobotin mukana tulevalla käsikonsolilla, tai yhteistyörobotin kädestä pitäen. Yhteistyörobotin käsivarressa on kolme nappia, joilla yhteistyörobotin liikerata piirretään. Käsivarren takana oleva nappi vapauttaa käsivarren, jolloin sitä voi siirrellä eri asentoihin. Sama nappi löytyy myös käsikonsolista. Toista kahdesta edessä olevista napeista painamalla piirretään pisteitä, joiden välille yhteistyörobotti hitsaa suoran viivan. Toista nappia painamalla piirretään kolme pistettä, joiden kautta yhteistyörobotti hitsaa kaaren: alkupiste, loppupiste ja piste, jonka kautta kaari kulkee. Pisteitä voi olla myös enemmän, mikäli kappaleen muoto sen vaatii.



Kuva 7. Työstetty kappale ja yhteistyörobotin tuottama pienahitsi (kuva Daniel Korhonen 2022).

UR10e-yhteistyörobotti saatiin käyttövalmiiksi työpäivässä. Toinen työpäivä meni hitsauslaitteiston telineen rakentamiseen. SmoothTool-työkalun ja Kempin hitsauslaitteistoon asentamiseen ja käyttöönottoon meni vielä yksi aamupäivä. Työryhmä laati samalla asennus- ja käyttöohjeita yhteistyörobotille ja työkaluille,

joten mikäli Metropolia päättää sijoittaa UR10e-yhteistyörobottiin, SmoothTooliin ja Kempin hitsauslaitteistoon, näihin löytyy valmiit käyttöohjeet. Ohjeita kokeiltiin käytännössä marraskuun alussa ja yhteistyörobotti saatiin hitsausvalmiuteen ohjeiden avulla kolmessa tunnissa. Kun mukaan lasketaan ohjelmointiin menevä aika, yhteistyörobotti on mahdollista saada ohjeiden avulla täysvalmiuteen noin kuudessa tunnissa.

5 Vertailtavat hitsausrobotit ja hitsaustyökalut

5.1 Robotit

Yhteistyörobotti Universal Robots UR10e oli testikäytössä Metropolia Ammatti-
korkeakoulussa syksyllä 2022. Metropolian oppilaat laativat kyseiselle yhteistyö-
robotille käyttöohjeet. UR10e on vertailtavista yhteistyöroboteista suosituin ja tu-
kee lähes kaikkia hitsausjärjestelmiä. Universal Roboticsin kanssa kannattaa
olla Smooth Roboticsin SmoothTool -hitsaustyökalu, joka yhdistää valitun hit-
sausvoimanlähteen UR-yhteistyörobottiin. Tällekin työkalulle löytyy oppilaiden
laatimat käyttöohjeet. (The UR10e 2023.)





Techman TM5-700 on yhteistyörobotti, joka sisältää jo valmiina sisäänrakenne-
tun Omronin kameran, jolla voi seurata optisesti ja analysoida työn jälkeä. Tämä
voisi olla hyvä vaihtoehto erilliselle railonseurantajärjestelmälle. TM5-tuoteperhe
on 25–47 % halvempi kuin Universal Robots UR10e. (Teollisuusautomaatio
2022; TM5-700 2019; OMRONTM TM5-700.)

Yaskawalta löytyy oppilaitoksen tilaan sopivia perinteisiä hitsausrobotisoluja,
kuten muun muassa ArcWorld HS Micro (mitat 1,0 m x 2,0 m x 2,2 m) ja
ArcWorld RS Mini (mitat 1,5 m x 2,2 m x 2,2 m). Yaskawan robotisolut ovat yh-
teensopivia muun muassa Kempin, Froniuksen ja EWM:n hitsausjärjestelmien
kanssa. Pienen kokonsa vuoksi nämä solut eivät ole yhtä käytännöllisiä kuin yh-
teistyörobotti, joka seisoo avoimella pöydällä esteettömästi. Isompia robotteja
on muun muassa Weld4Me-tuoteperhe. Isompi robotti tuo kuitenkin omat haas-
teensa tilankäytön kannalta, eikä robotille varattu tila ole välttämättä riittävä.
(ArcWorld RS Mini & HS Micro 2022.)

ABB:n hitsausrobotiikan myyjä Juha Mainio ehdottaa teollisuusrobottipakettia,
jossa on mukana laserskannausanturi railonseurantaan sekä opetuskahva, joka
antaisi robotille yhteistyörobottia vastaavan helppokäyttöisyyden. Lisäksi järjes-
telmässä olisi ympäristön laserseuranta, joka tekee robotista turvallisen myös
yhteistyössä ihmisen kanssa. Tämä paketti voisi mahdollisesti yhdistää

teollisuusrobotiikan monipuolisuuden ja yhteistyörobotiikan helppokäyttöisyyden. (Mainio 2023.)

Seuraavassa taulukossa 8 vertaillaan edellä mainittuja robotteja. Pääpaino on robottien vahvuuksissa sekä kustannusarviossa.

Robotti		Tyyppi	Vahvuudet	Hintavertailu
UR10e		Yhteistyörobotti	- Suosittu - Yhteensopiva useiden järjestelmien kanssa	Edullinen
Techman		Yhteistyörobotti	- Sisäänrakennettu kamera laadunseurantaa varten	Edullisin
Yaskawa		Teollisuusrobotti	- Pieni paketti, mahtuu sille varattuun työtilaan	Hieman arvokkaampi
ABB		Teollisuusrobotti	- Käytössä LUT:ssa - Räätelöity paketti, joka sisältää kaikki tarvittavat lisäosat	Arvokkain

Taulukko 8: Robottikärsivarsien vertailu.

5.2 Hitsausjärjestelmät

Kemppi on suomalainen hitsausjärjestelmä, joka oli koekäytössä Metropolia Ammattikorkeakoulussa syksyllä 2022. Metropolian opiskelijat laativat käyttöohjeet järjestelmälle, mikä helpottaisi ja nopeuttaisi huomattavasti järjestelmän käyttöönottoa ja operointia. (X8 MIG Welder 2023.)

Fronius on itävaltalainen hitsaustekniikan tuottaja ja CMT-hitsaustekniikan kehittäjä. CWC-D-yksikkö on suurehko paketti (mitat 3,6 m x 2,2 m x 2,8 m) mutta suhteessa edullinen ja kattaa lähes kaikki oppilaitoksen vaatimukset. THG Automation -yritykseltä löytyy myös valmiita paketteja, joissa on sekä Fronius-CMT-hitsausjärjestelmä että Universal Robots-yhteistyörobotti. (DE Factsheet CWC-D Cobot welding cell EN EN Factsheet CWC-D Cobot weld-ing cell EN 2020.)

EWM on saksalainen hitsausjärjestelmä, ja yritys myy valmiita hitsauspaketteja edullisin hinnoin. Metropolia Ammattikorkeakoulun Leiritien-toimipisteessä 7.2.2023 oli esittelyssä EWM XQ -perheen hitsausjärjestelmä yhdistettynä UR10e-yhteistyörobottiin ja GPPH:n hitsauspöytään. Hitsausinsinööri ja Pro-Weldin edustaja Jussi Martinskinin mukaan vastaavankokoinen teollisuushitsausrobotti, joka kykenee railonseurantaan ja metallin 3D-tulostamiseen, olisi jopa 30 000 euroa kalliimpi paketti. (EWM-hitsaustekniikka; Kaikki yhdestä lähteestä.)

Taulukossa 9 vertaillaan edellä mainittuja hitsausjärjestelmiä. Päähuomio on järjestelmien vahvuuksissa sekä kustannusarviossa.

Järjestelmä		Hitsaustekniikka	Vahvuudet	Hintavertailu
Kemppi		MIG/MAG	- Ollut jo testissä Metropolialla	Edullinen
Fronius		CMT	- Vastaa parhaiten oppilaitoksen tarpeita	Arvokas
EWM		MIG/MAG	- Valmiita tuotepaketteja edullisesti	Edullisin

Taulukko 9: Hitsausjärjestelmien vertailu.

5.3 Railon seurantajärjestelmät ja laadunvalvonta

Railon seurantaa voidaan soveltaa joko erilaisilla voima-antureilla tai optisesti. Akseli Laakso käsitteli Pemamek Oy:lle laatimassaan konetekniikan opinnäytetyössään *Hitsauksen railon seurannan päivittäminen (2020)* voima-antureita sekä ohjaussauvaa. Pienrobotiikkaan optinen seuranta voisi kuitenkin olla kätevämpi ratkaisu. Esimerkiksi Oulun Ammattikorkeakoulun *Optinen railonhaku ja*

-seuranta robotisoidussa hitsauksessa (2020) -demonstraatiossa käytettiin SICK TriSpector 1008 -anturia. Tämä oli kuitenkin demonstraation suorittajien Vesa Rahkolinin, Jari Rauman ja Mira Kekkosen mielestä turhan kallis ja painava anturi. Toinen vaihtoehto on laseranturi, kuten Finnroboticsin FD-LT-lasersensori, tai Winterian Robotic Weld Inspector-lasersensori, joilta onnistuvat sekä railonhaku että -seuranta. (Laakso 2020 22–30; Kekkonen ym. 2020; TriSpector1000 2023; Railonhaku ja -seuranta; Winteria 2020.)

ABB:n robotiikka-asiantuntija Pasi Kukkonen mielestä hitsatun sauman luokkatarkastus ei ole mahdollista normaalilla hitsausrobotisoluilla. Se vaatisi erillisen laserskannerin tai röntgen- tai ultra-anturin, joka muodostaisi hitsatusta palosta mallin ja sen jälkeen vertaisi tulosta joihinkin ennalta annettuihin parametreihin. Railonhaku ja -seuranta laseranturilla löytyy vakiona ABB:n robotisoluista. (Kukkonen 2023.)

Lappeenrannan yliopisto LUT, joka keskittyy raskaaseen teollisuusrobotiikkaan, käyttää ABB IRC5 -hitsausrobotia sekä MetaVisionin Smart Laser Pilot SLPI -lasersensoria railonseurannassa. MetaVisionia ei kuitenkaan enää nykyään valmisteta, mutta ABB:n vakiosensorit sopivat yhtä hyvin ja sisältävät samat spesifikaatiot. LUT:lla on myös käytössä Micro-Epsilonin lasersensori, joka on hieman tarkempi sensoritutkimuskäytössä. Tämän sensorin käyttöönotto ja operointi on kuitenkin niin vaivalloista, että LUT:n yhteyshenkilö Sakari Penttilä ei suosittele sen hankintaa, jos ei ole oikeaa tarvetta syvälliselle tutkimustyölle. (Penttilä 2023; Hiltunen ym. 2022; Kuosmanen 2023.)

Yhteistyörobotille railonhaku ja -seuranta ovat hyvin turhia toimintoja yhteistyörobotin toimintatavan vuoksi. Kari Koskinen, Hannu Lehtinen ja Karri Vartiainen toteavat tutkimuksessaan *Robosoidun hitsauksen optinen railonseuranta* (1984) seuraavaa:




”Robotit pystyvät seuraamaan nimellistä opetettua liikerataa lähes sadasosamilimetrin tarkkuudella. Tällaista tarkkuutta ei ole yleensä taloudellisesti järkevää vaatia hitsattavilta kappaleilta eikä myöskään hitsauksen apulaitteilta. Pienillä

kappaleilla voidaan sopivilla kiinnittimillä ja ohjaimilla kohdistaa hitsausrailo riittäväällä tarkkuudella oikealle kohdalleen.” (Koskinen ym. 1984 1.)

Tästä huolimatta optinen laadunseuranta on silti mahdollista. Laadunvalvontaan kykeneviä 2D-konenäkökameroita ovat muun muassa SICKin PicoCam2 sekä Omronin linjanskannauskamerat, jotka löytyvät myös Techman TM5-700 -yhteistyörobotista. Optiset anturit ovat kuitenkin suuria, kalliita ja alttiita valokaaren tuottamille häiriöille. SICKiltä löytyy myös nanoScan3-laserskanneri yhteistyörobotille, mutta se soveltuu vain TIG-hitsaamiseen. (Andersson 2021; 2D-konenäkö PicoCam2 2023.)

Taulukossa 10 vertaillaan konenäkö- ja laadunvalvontasensoreita. Päähuomio on sensorien vahvuuksissa sekä kustannusarviossa.

Tuote		Tyyppi	Vahvuudet	Hintavertailu
SICK TriSpector		Optinen 3D-konenäkö	- OAMK:n testaama	Hinnakas
FinnRobotics FD-LT		Laseranturi	- Railonhaku- ja seuranta	Ei arviota
Winteria		Laseranturi	- Railonhaku- ja seuranta	Ei arviota

ABB		Laseranturi	- Sisältyy ABB:n pakettitarjoukseen	Edullinen
Omron		Optinen 2D-konenäkö	- Sisältyy Technanin yhteistyö-robottiin	Ei ylimääräisiä kustannuksia
SICK PicoCam2		Optinen 2D-konenäkö	- Sopiva yhteistyörobotin kanssa	Hinnakas
Micro-Epsilon		Laseranturi	- Tarkka ja monipuolinen	Hinnakas

Taulukko 10: Laser- ja konenäköantureiden vertailu.

5.4 Metallin 3D-tulostusmahdollisuudet

Froniuksen CMT-hitsausjärjestelmä sopii erityisen hyvin 3D-tulostamiseen, sillä työn jälki on normaalia kaarihitaamista siistimpää. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö aivan normaalikin MIG-hitsausjärjestelmä kykenisi tulostamaan metallia.

Journal of Mechanical Engineering and Developments (JMERD) -lehden toimitaja Mohd Rizal Alkahari suunnitteli kustannustehokkaan metallin 3D-tulostimen

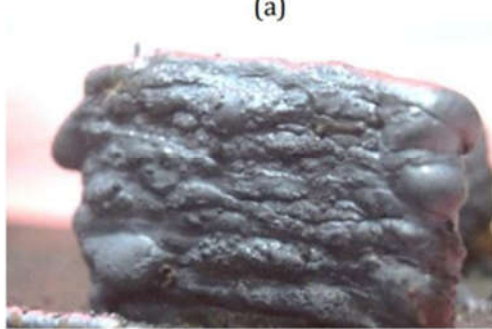
vuonna 2018 yhdistämällä MIG-hitsausjärjestelmän RepRap-3D-tulostimeen. Alla olevassa kuvassa 11 näkyy Alkaharin tulostimen tuottamaa jälkeä eri nopeuksilla. Kuva (a) on 20 millimetriä sekunnissa, kuva (b) on 40 mm/s, kuva (c) on 60 mm/s, ja kuva (d) on 80 mm/s. (Alkahari 2018.)



(a)



(b)



(c)



(d)

Kuva 11: Metallin 3D-tulostamisen jälki eri nopeuksilla (Alkahari 2018).

Carl Bassin ruostumattomalla teräksellä tulostettu Elbo Chair tehtiin MIG-hitsausrobotilla pienellä jännitteellä ja suurella virralla, ja lopputuote on siisti, kuten kuvassa 12 näkyy. Projekti sekä prosessivideo löytyy Carl Bassin sivuilta carlbass.com nimellä Elbo Chair in Steel – 2015. (Bass 2015.)



Kuva 12: Elbo Chair in Steel. MIG-hitsaamalla 3D-tulostettu tuoli (Bass 2015). Kuvan käyttöoikeudet saatu tekijältä.

6 Pohdinta

6.1 Työtila

Pienehkössä työtilassa yhteistyörobotti on parempi, sillä yhteistyörobotti kykenee sensoreillaan adaptoitumaan työtilan mukaiseksi eikä vaadi ylimääräisiä suojaverkkoja tai muuta tilaa vievää eristystä. Laserantureilla varustettu teollisuusrobotti kykenee myös muotoutumaan tilan mukaiseksi eikä vaadi eristystä. Työtilassa olevien ikkunoiden vuoksi robotti vaatii näköesteen suojatakseen muita tilankäyttäjää kirkkaalta valokaarelta. Yhteistyörobotti vaatisi suojaverhon tai teollisuusrobotin oman eristetyn kaappinsa. Kaappi lisäksi suojaisi robotia huoneessa olevalta pölyltä. Yhteistyörobotilla ei ole vastaavaa suojaa, sillä se istuu avoimella pöydällä. Yhteistyörobotin käsivarren saa laitettua suojaus-siin, joka suojaa niveliä pölyltä, ja koneiden ilmanottoihin löytyy suodattimia valmistajilta.

6.2 Käyttäjäystävällisyys

Yhteistyörobotti on helppo ohjelmoida käyttökohteen mukaan, ja yhteistyörobotilla työskentely on helppoa ja opettavaa. Teollisuusrobotti tekee kaiken hitsaajan puolesta mutta on haastavampi ohjelmoida. Yhteistyörobotti kykenee täyteen autonomiaan teollisuusrobotin tapaan. ABB:n teollisuusrobotille löytyy opetuskahva, joka antaa robotille yhteistyörobottia vastaavan hyödyn. Universal Robots UR10e -yhteistyörobotille, SmoothTool-työkalulle ja Kempin hitsausjärjestelmälle löytyy Metropolian opiskelijoiden laatimat käyttöohjeet.

6.3 Luotettavuus

Yhteistyörobotiikka on vielä niin uutta teknologiaa, että ohjausjärjestelmissä voi esiintyä vikoja, puutteita ja muita ongelmia. Nämä ohjausjärjestelmät kuitenkin kehittyvät nopealla tahdilla, ja päivityksiä tulee useita kertoja vuodessa. Perinteinen teollisuusrobotti on varmempi työkalu, sillä sitä on räätälöity oppilaitoksen tarpeiden mukaisiin käyttökohteisiin sopivaksi jo useita vuosikymmeniä.

6.4 Lisävarusteet ja käyttökohteet

Yhteistyörobotti kykenee yksinkertaisiin hitsaustehtäviin, mutta vaativimmat operaatiot, suuremmat kappaleet tai vaikeammat asennot onnistuvat paremmin teollisuusrobotilla. Kaikki oppilaitoksen vaatimat lisävarusteet eivät sovellu yhteistyörobotiikkaan. Railonseurantajärjestelmä on lähinnä teollisuusroboteille tarkoitettua teknologiaa, sillä niin painavaa lisäosaa ei ole erityisen järkevää asentaa yhteistyörobotin käsivarteeseen. Myös railonseurantajärjestelmän korkea hinta tekee lisäosasta aika turhan sijoituksen. Oulun ammattikorkeakoulun oppilaat Vesa Rahkolin, Jari Rauma ja Mira Kekkonen onnistuivat kuitenkin asentamaan optisen railonseurantajärjestelmän yhteistyörobottiin osana EAKR-hankettaan 2019–2020. Nämä ominaisuudet kuitenkin löytyvät vakiona teollisuusrobotiikasta. (Kekkonen ym. 2020.)

3D-tulostaminen yhteistyörobotilla on myös hyvin vaivalloinen ja monimutkainen operaatio. Hämeen ammattikorkeakoulun insinööri kandidaatti Ales Trtnik totesi kandidaatintyössään *3D Printing with a Cobot Arm* (kevät 2022), että osia on liikaa, komentojono on aivan liian pitkä käyttöjärjestelmälle ja yhteistyörobotin käsivarsi tärisee herkästi. 3D-tulostaminen saattaa olla muutenkin aika turha lisä oppilaitoksen käyttötarkoituksiin, ellei asiakastilauksissa ole erityistä kysyntää. (Trtnik 2022: 41.)

6.5 Hinta

Yhteistyörobotit ovat yleisesti teollisuusrobotteja halvempia järjestelmiä. Valmiita yhteistyörobottipaketteja löytyy hintaväliltä 50 000 – 75 000 €, kun taas samankokoisten teollisuusrobottien lähtöhinnat ovat yli sadan tuhannen euron.

6.6 Tulevaisuus

Teollisuusrobotit ovat tällä hetkellä valmiimpia paketteja kuin yhteistyörobotit, mutta yhteistyörobottien markkinat ovat jatkuvassa kasvussa. Yhteistyörobotit ovat monin tavoin teollisuusrobottia helpokäyttöisempiä ja monipuolisempia

käyttökohteiltaan, ja on vain ajan kysymys, milloin yhteistyöroboteista tulee yhtä luotettavia ja varmoja työkaluja. Yhteistyörobotin heikkous onkin sen monipuolisuus, sillä vaikka se on helppo ohjelmoida, se ei silti ole yhtä hyvin räätälöity tehtävänsä kuin varta varten suunniteltu teollisuusrobotti. Mutta jos käyttökohteita on useita, yhteistyörobotti on paljon käyttäjäystävällisempi ja nopeampi tehtävää vaihtaessaan. Yhteistyörobottien ohjausjärjestelmät kehittyvät huimaa vauhtia, ja viime kuussa ilmennyt ongelma voikin olla jo korjattu ensi kuun päivityksessä.

7 Johtopäätös

Yhteistyörobotiikka on tulevaisuutta ja edustaa erityisesti pienteollisuuden etuja monipuolisuudellaan, helppokäyttöisyydellään sekä suhteellisen edullisella hinnallaan. Erityisesti oppimisympäristössä yhteistyörobotti on helposti lähestyttävä, turvallinen ja virheitä anteeksi antava. Yhteistyörobottien käyttöjärjestelmät ovat kuitenkin kehityksessä vielä teollisuusrobottien perässä, eikä kaikkia toivottuja toimintoja välttämättä ole vielä implementoitu. Lisäksi käyttöjärjestelmien kattavuus ja toimintavarmuus voi olla teknologian uutuuden sekä kehityksen nopean tahdin vuoksi kyseenalaistettavissa. Käyttöjärjestelmät ovat kuitenkin jatkuvassa kehityksessä, joten puutteet ja epävarmuudet hioutuvat pois pikuhiljaa jokaisen päivityksen myötä.

Varmin työkalu oppilaitoksen tarpeisiin olisi ABB:n teollisuusrobotti railonseurannalla ja metallin 3D-tulostusmahdollisuuksilla, mutta tämä olisi myös huomattavasti kallein vaihtoehto. Valmiita yhteistyörobottipaketteja saa jopa puolet pienemmillä summilla, mutta railonseuranta ja metallin 3D-tulostaminen tuottaisivat ylimääräisiä haasteita ja toisivat lisäkustannuksia ynnä muita haasteita jo valmiiksi epävarmalle käyttöjärjestelmälle. Suurin kysymys onkin, ovatko railonseuranta ja 3D-tulostus lisäsijoituksen arvoisia, sillä yhteistyörobotti kykenee täyttämään kaikki muut oppilaitoksen tarpeet aivan yhtä hyvin kuin teollisuusrobottikin.

Kustannusten lisäksi toinen haaste teollisuusrobotille on tilan vienti, sillä robotti vaatii suljetun ympäristön, johon ihmisellä ei ole pääsyä robotin ollessa käynnissä. Yhteistyörobotilla ei ole samaa rajoitetta, vaan yhteistyörobotti muovautuu ympäristön ja ympärillä olevien ihmisten mukaisesti vapaasti ja esteettömästi. Tällöin yhteistyörobotin kanssa työskentely on monimuotoisempaa, osallistavampaa sekä tehokkaampaa ajankäytön ja tilan käytön suhteen. ABB:n ratkaisu ongelmalle on ympäristön laserseuranta, joka antaa teollisuusrobotille yhteistyörobottia vastaavat turvalliset tilankäyttöominaisuudet.

Lähteet

2D-konenäkö PicoCam2. 2023. Verkkoaineisto. Sick AG.

<<https://www.sick.com/fi/fi/teollinen-kuvankaesittely/2d-konenaekoe/pico-cam2/c/g541249>>. Luettu 15.3.2023.

7 Common Types of Robotic Welding Processes and When They're Used.

2017. Verkkoaineisto. Robotics Online Marketing Team. Association for Advancing Automation. <<https://www.automate.org/blogs/7-common-types-of-robotic-welding-processes-and-when-they-re-used>>. Luettu 15.3.2023.

Alkahari, Mohd Rizal. 2018. Design and Development Of A Low-Cost 3D Metal Printer. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. 41. 47–54.

Andersson, Mika. 2021. Verkkoaineisto. SICK. <<https://www.sick.com/fi/fi/sickin-nanoscan3-tekee-kobottihitsauksesta-entistaekin-tehokkaampaa/w/blog-fi-na-noScan3/>>. Luettu 16.3.2023.

Antonelli, Dario; Astanin, Sergey & Bruno, Giulia. 2016. Applicability of Human-Robot Collaboration to Small Patch Production. Collaboration in a Hyperconnected World. Springer International Publishing.

ArcWorld RS Mini & HS Micro. 2022. Tuote-esite. Yaskawa.

<https://www.yaskawa.fi/j%25C3%25A4rjestelm%25C3%25A4t/productdetail/product/arcworld-rs-hs_762>. Luettu 15.3.2023.

Asavari & Vineet, K. 2020. Verkkoaineisto. Allied Market Research.

<<https://www.alliedmarketresearch.com/industrial-cobot-market-A06074>>. Luettu 11.12.2022.

Bass, Carl. 2015. Elbo Chair in Steel. <<https://www.carlbass.com/el-bochairsteel.html>>. Luettu 23.3.2023.

Bauer, Wilhelm; Bender, Manfred; Braun, Martin; Rally, Peter & Scholtz, Oliver. 2016. Lightweight Robots in Manual Assembly – Best to Start Simply. Examining Companies' Initial Experiences with Lightweight Robots. Stuttgart: Fraunhofer Institute for Industrial Engineering IAO.

CMT – Cold Metal Transfer: The cold welding process for premium quality.

2022. Verkkoaineisto. Fronius International GmbH. <<https://www.fronius.com/en/welding-technology/world-of-welding/fronius-welding-processes/cmt>>. Luettu 15.3.2023.

DE Factsheet CWC-D Cobot welding cell EN EN Factsheet CWC-D Cobot welding cell EN. 2020. Verkkoaineisto. Fronius.

<<https://www.fronius.com/en/welding-technology/products/automation/systems/robotic-welding-systems/cwc-d-cobot-welding-cell/cwc-d-cobot-welding-cell>>. Luettu 15.3.2023.

EWM-hitsaustekniikka; Kaikki yhdestä lähteestä. Esitelehti. Mündersbach: EWM AG.

Greenspan, Steven & Matthews, Peter. 2020. Technology Definitions. In: Automation and Collaborative Robotics: A Guide to the Future of Work s. 56– 59 & 110– 140. Berkeley, CA: Apress.

Haapala, Jari-Pekka. 2020. Robottihitsausaseman lasermittaukseen perustuvan ohjauksjärjestelmän kehitys. Diplomityö. LUT-yliopisto. Lappeenranta.

Hiltunen, E.;Lund, H.;Martikainen A.;Penttilä, S. & Skriko, T. 2022. Research and education topics of LUT Welding Technology. Verkkoaineisto. LUT-yliopisto. <<https://www.lut.fi/en/research-groups/welding-technology>>. Katsottu 10.4.2023.

ISO/TS 15066:2016. 2016. Robots and robotic devices – Collaborative robots. Geneva: International Organization for Standardization.

Jalloh, Rashid. 2020. Kone- ja rakennustekniikan insinööritieteiden kandidaatti. Yhteistyörobotit ihmisten kaverina tuotantoympäristössä s. 1–4. Kandidaatintyö. Aalto-yliopisto. Aaltodoc-tietokanta.

Kekkonen, Mira; Rahkolin, Vesa & Rauma, Jari. 2020. Optinen railonhaku ja -seuranta robotisoidussa hitsauksessa. Verkkoaineisto. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 115. <<http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe20201216101026>>. Luettu 17.10.2022

Koskinen, Kari; Lehtinen, Hannu & Vartiainen, Karri. 1984, Robotisoidun hitsauksen optinen railonseuranta s. 1. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia - Research Reports, no. 272, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo.

Kukkonen, Pasi. 2023. Robotiikka-asiantuntija ABB. Keskustelu 10.3.2023.

Kuosmanen, Jouko. 2023. Laserskanneri tarkkoja 2D-/3D-mittauksia varten. Micro-Epsilon Sensotest. Verkkoaineisto. <https://www.micro-epsilon.fi/2D_3D/laser-scanner/>. Katsottu 10.4.2023.

Laakso, Akseli. 2020. Hitsauksen railonseurannan päivittäminen. Kandidaatintyö. Tampereen ammattikorkeakoulu.

Liljaniemi, Antti. 2020. Teknologiat. Verkkoaineisto. Digisalama, Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://digisalama.metropolia.fi/teknologiat/>>. Luettu 17.10.2022.

Liljaniemi, Antti. 2021. Cobotti hyppäsi kyytiin. Verkkoaineisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://blogit.metropolia.fi/robologi/2021/05/17/cobotti-hyppasi-kyytiin/>>. Luettu 17.10.2022.

Mainio, Juha. 2023. Robotiikan myyjä. ABB. Keskustelu 15.4.2023.

OMRON TM5-700. Verkkoaineisto. Robottitekniikka Oy. <<https://www.robotitekniikka.fi/product/omron-techman-tm5-700/>>. Luettu 15.3.2023.

Railonhaku ja -seuranta. Verkkoaineisto. Finnrobotics Oy. <<http://finnrobotics.fi/tuotteet/railonhaku-ja-seuranta/>>. Luettu 15.3.2023.

Penttilä, Sakari. 2023. Konetekniikan tutkijatohtori. LUT-yliopistossa. Keskustelu 23.4.2023.

Pöysti, Camilla. 2020. Kobotti – kiva työkaveriko? Kokemuksia kobottien kanssa tehdystä yhteistyöstä. Verkkoaineisto. Digisalama, Metropolian Ammattikorkeakoulu. <<https://digisalama.metropolia.fi/kobotti-kiva-tyokaveriko-kokemuksia-kobottien-kanssa-tehdysta-yhteistyosta/>>. Luettu 17.10.2022.

Rahkolin, Vesa & Rauma, Jari. 2020. Hitsauksen automatisointi yhteistyörobotiikalla. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut 84. <<http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2020101684258>>. Luettu 17.10.2022.

Robottihitsaus. Hitsausaapinen. 2022. Verkkoaineisto. Kemppi Oy. <<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuki/hitsausaapinen/robottihitsaus/>>. Luettu 10.8.2022.

SFS-EN ISO 10218-1. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Teollisuusrobotit. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 10218-2. 2011. Robotit ja robotiikkalaitteet. Turvallisuusvaatimukset. Osa 2: Robottijärjestelmät ja niiden yhdistelmät. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Svahn, Veli-Matti. 2022. Hitsaaminen. Verkkoaineisto. Machine Tool co. <<https://www.machinetool.fi/kayttotapaus-hitsaaminen>>. Luettu 17.10.2022.

Teollisuusautomaatio. 2022. Datalehti. Omron Corporation. <https://www.omron.com.tw/data_pdf/cat/tm_i836-e1_2_1_csm1066064.pdf>. Luettu 15.3.2023.

The UR10e. 2023. Verkkoaineisto. Universal Robots. Boston, MA. <<https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>>. Katsottu 15.3.2023.

Tietäväinen, Joonas. 2015. Robottihitsauksen toimintojen kehittäminen hitsaus-tuotannossa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto LUT.

TM5-700. 2019. Verkkoaineisto. Techman. <<https://www.tm-robot.com/en/tm5-700/>>. Luettu 15.3.2023.

TriSpector1000. 2023. Verkkoaineisto. Sick AG. <<https://www.sick.com/fi/fi/teol-linen-kuvankaesittely/3d-konenaekoe/trispector1000/c/g389052>>. Luettu 15.3.2023.

Trtnik, Alex. 2022. 3D Printing with a Cobot Arm s. 41. Kandidaatintyö. Hämeen Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Tuominen, Timo. 2022. Lehtori Metropolian ammattikorkeakoulussa. Verkkoai-neisto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://blogit.metropolia.fi/robo-logi/2022/05/19/kobotiikan-simulointia-ja-testausta-tosielamasta/>>. Luettu 10.1.2023.

Välilikylä, Ville-Risto. 2019. Automaatio- ja informaatioteknologia. COBOTIT – Yhteistyörobottien määritelmät, ominaisuudet ja käyttökohteet. Kandidaatintyö. Aalto-yliopisto. Aaltodoc-tietokanta.

Winteria. 2019. Robotic weld inspection. Verkkoaineisto. <<https://winte-ria.se/product/robotic-weld-inspection/>>. Luettu 10.4.2023.

X8 MIG Welder. 2023. Verkkoaineisto. Kemppi. <<https://www.kemppi.com/fi-FI/tuotteet/family/x8-mig-welder/>>. Luettu 15.3.2023.