



**Euroopan unionin
osarahoittama**

SeAMK
SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Jigittömän robottihitsauksen offline- ohjelmointi

OPLITE-Casebook

Jarkko Pakkanen

23.5.2025

Seinäjoen ammattikorkeakoulu

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Ferrum Steel Oy	3
3	Jigitön hitsaus.....	4
4	Testausympäristö	5
5	Offline-ohjelmointi.....	6
6	Testikappale	7
7	Ohjelmoinnin valmistelu Visual Components -ohjelmistossa	8
8	Robottien ohjelmointi	8
9	Postprosessointi	11
10	Johtopäätökset	13

1 Johdanto

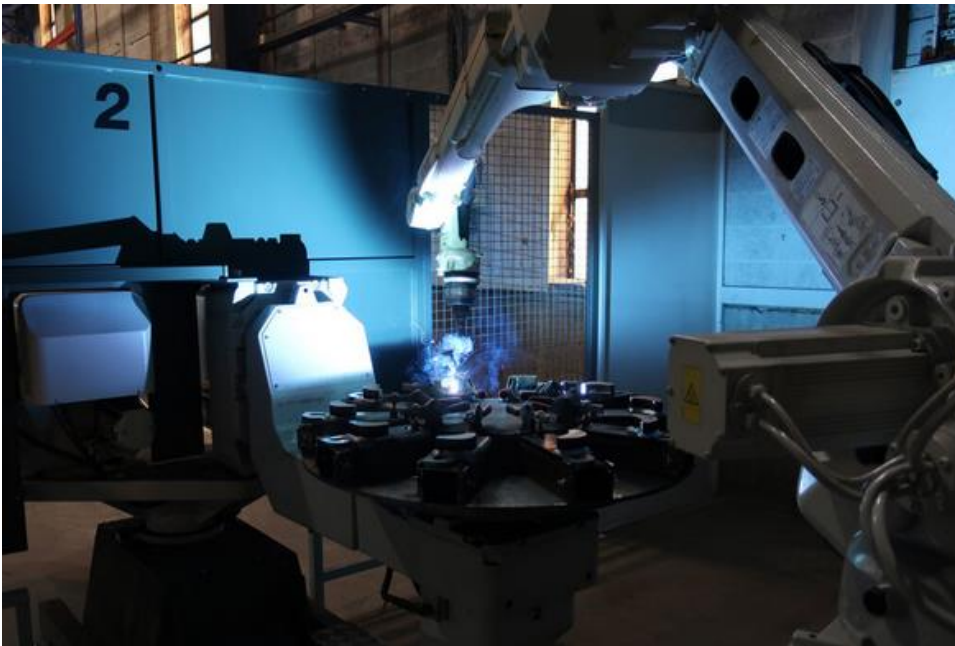
Optimaalista lisäarvoa teknologiasta (OPLITE) -hankkeen yhtenä tavoitteena on kehittää mahdollisuuksia tuottaa mahdollisuuksia kehittää ja optimoida omia toimintojaan simulointi ja datapohjaisilla menetelmillä. Sen lisäksi, että simulointimallin avulla voidaan tutkia, kehittää ja testata tuotantomenetelmiä osana strategisia päätöksiä, esimerkiksi ennen investointeja, voidaan sitä myös käyttää operatiivisessa toiminnassa. Tästä hyvänä esimerkkinä on robottisolujen simulointi ja offline-ohjelmointi. Offline-ohjelmointia robottien jatkuvassa ohjelmoinnissa käytetään ylivoimaisesti eniten hitsauksessa ja maalauksessa. Tämä johtuu osin siitä, että näitä tuotantomenetelmiä käytetään paljon alihankintateollisuudessa, sekä siitä, että useat ohjelmointiympäristöt tarjoavat näille prosesseille tehokkaita 3D-CAD-tuotemalleihin perustuvia, automaattisia radangenerointitoimintoja. Esimerkiksi yksittäinen hitsausrata (robottiohjelma) voidaan helpoimmassa tapauksessa generoida yhdellä hiiren painalluksella. Hitsausrobottien ohjelmointia graafisessa etäohjelmointiympäristössä on toteutettu jo vuosikymmeniä. Robottihitsauksen uutena trendinä on selkeästi nousemassa jigiton monirobottihitsaus. Tässä menetelmässä hitsattavan rakenteen osat sijoitetaan paikoilleen käsittelyrobotilla ja hitsataan toisella robotilla. Tällä menetelmällä päästään eroon jigisuunnittelusta ja -valmistuksesta. Menetelmä sopii näin ollen myös varsin hyvin High Mix – Low Volume -tyyppisille tuotantosarjoille. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että robottien ohjelmointi täytyy tapahtua myös erittäin tehokkaasti.

Kuten edellä mainittu – hitsausrobottien etäohjelmointi onkin jo varsin tehokasta, mutta monirobottihitsauksessa täytyy myös kappaleenkäsittelyrobotin ohjelmointi saada tehokkaaksi. Tässä OPLITE-hankkeen case-kuvauksessa paneudutaankin juuri jigittömän monirobottihitsauksen tehokkaaseen ohjelmointiin.

2 Ferrum Steel Oy

Pilottiyrityksenä tässä pilotissa toimi Ferrum Steel Oy. Seinäjoella sijaitseva Ferrum Steel Oy on nykyisin Feon Oy:n tytäryhtiö. Ferrum Oy:n tuotanto sisältää polttoleikkausta, plasmaleikkausta, laserleikkausta, särmäystä, koneistusta ja hitsausta. Yritys onkin panostanut varsin paljon robottihitsaukseen kuluneen viiden vuoden aikana. Yrityksellä on tällä hetkellä useita robottihitaussoluja (kuva 1), joista osalla pystytään hitsaamaan myös erittäin pitkiä rakenteita. Yrityksen asiakaskunta koostuu kansainvälisesti toimivista lopputuotevalmistajista sekä

hitsaavista ja koneistavista konepajoista. Yritys soveltuu erittäin hyvin pilottikohteeksi: Sen valmistusmenetelmät ovat tyypillisiä lähes kaikille konepajoille, tuotevariaatio on iso johtuen useista päähankkijoista ja paine tuotannon jatkuvaan kehittämiseen kilpailukyvyn säilyttämiseksi on ilmeinen.



Kuva 1. Yksi Ferrum Steel Oy:n robottihitsaussoluista. (lähde: <https://www.ferrumsteel.fi/palvelut/hitsaus/>)

3 Jigitön hitsaus

Jigitön hitsaus poikkeaa perinteisestä robottihitsauksesta siinä, että nimensä mukaisesti, siinä ei käytetä ollenkaan hitsauspaikoittimia (jigejä). Robotin toistotarkkuudella onkin tässä menetelmässä keskeinen rooli, koska rakenteen osat paikoitetaan rakenteeseen robotin, eikä paikoittimien avulla. Normaali työkierto tässä menetelmässä on seuraava:

- Kappaleenkäsittelyrobotti poimii rakenteen ensimmäisen osan esimerkiksi lavalta konenäön avulla
- Kappaleenkäsittelyrobotti pudottaa osan uudelleentartunta-asemalle ja poimii sen siitä uudelleen. Tämän toiminnon tarkoituksena on saada osa paikoittumaan tarttujaan tarkasti oikeaan kohtaan, jotta se paikoittuu oikein seuraavassa vaiheessa.

- Kappaleenkäsittelyrobotti siirtää ensimmäisen osan kääntöpöydän kiinnittimeen, joka paikoittaa ja lukitsee osan kääntöpöytään.
- Kappaleenkäsittelyrobotti toistaa edellä esitetyt toimenpiteet seuraavalle osalle siten että, seuraava osa paikoittuu tuoterakenteessa oikeaan kohtaan ja antaa hitsausrobotille luvan tehdä silloitushitsit.
- Hitsausrobotti tekee osaan silloitushitsit, joilla osa kiinnitetään tuoterakenteeseen kappaleenkäsittelyrobotin yhä pitäessä osaa paikallaan.
- Tätä työkiertoa toistetaan, kunnes kaikki rakenteen osat ovat silloitushitsattu ja tuoterakenne on valmis.
- Lopuksi hitsausrobotti suorittaa tuotteen lopulliset liitoshitsaukset.

4 Testausympäristö

Testausympäristönä käytettiin Seinäjoen Ammattikorkeakoulun konelaboratorion Fanuc-robottisolua (Kuva 2). Solu koostuu kahdesta käsittelykyvyltään 165 kg ja ulottuvuudeltaan 2655 mm Fanuc R-2000iB/165F -teollisuusrobotista. Lisäksi robottien välissä on 2-akselinen käsittelypöytä, jolla työkappaleen orientaatiota voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Roboteilla on käytettävissä useita erilaisia tarttujia, joita voidaan myös muokata. Tässä demossa käytettiin magneettitarttujaa kappaleiden käsittelyyn. Käsittelypöytään rakennettiin yksinkertainen, paineilmatoiminen kiinnitinjärjestelmä tuoterakenteen ensimmäisen kappaleen kiinnitykseen. Loput rakenteen osat kiinnitetään silloitushitseillä. Robottien ohjelmointiin pilotissa käytettiin Visual Components -ohjelmistoa.



Kuva 2. Testausympäristönä käytetty SeAMK konelaboratorion Fanuc-robottisolu.

5 Offline-ohjelmointi

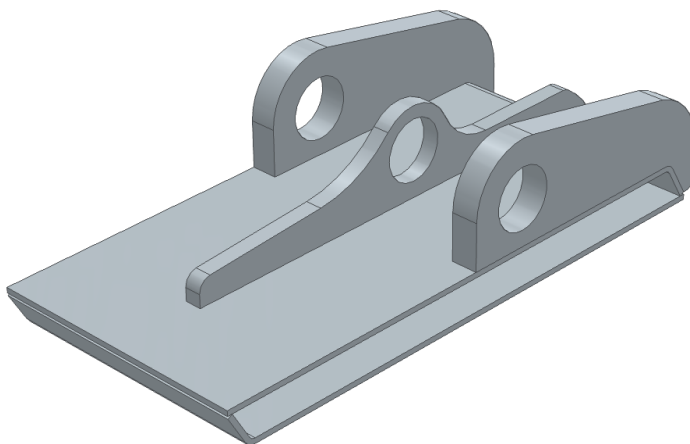
Offline-ohjelmointi ei varaa tuotantoaikaa, koska se tapahtuu kokonaan tuotannon ulkopuolella. Mallipohjainen etäohjelmointi tarkoittaa ohjelmoinnin suorittamista komiulotteisessa simulointiympäristössä. Offline-ohjelmointiympäristöstä käytetään usein termiä OLP (Offline Programming). Mallipohjaisessa ohjelmoinnissa käytetään apuna tuotteen 3D-mallin muotoipiirteitä. Esimerkiksi tuotteen hitsausradat voidaan generoida mallin avulla nopeasti ohjelmistojen valmiita generointimenetelmiä käyttäen. Tämä vaatii kuitenkin menetelmätietojen syöttämisen ohjelmistolle. Hitsaussovelluksissa tämä tarkoittaa prosessitietoja esimerkiksi poltinkulmasta, liikenopeudesta ja virtalähteessä käytettävästä ohjelmasta. Kuvassa 3 on SeAMK:n konelaboratorion Fanuc -robottihitsaussolu ja Visual Components OLP -ympäristö kyseiselle solulle.



Kuva 3. Testiympäristö ja siitä tehty simulointi- ja etäohjelmointimalli Visual Components -ohjelmistossa.

6 Testikappale

Testikappale (kuva 4) rakentui kahdesta taivutetusta levykappaleesta ja kolmesta paksummasta levyleikkeestä. Tällä hetkellä tuotteen lopulliset liitoshitsaukset toteutetaan robotisoidusti, mutta ennen robottihitsausta osat kokoonpannaan manuaalisella silloitushitsauksella. Tuotteen osat ovat melko painavia ja niiden käsittely manuaalisesti on siksi hankalaa myös ergonomian näkökulmasta.



Kuva 4. Testikappale.

7 Ohjelmoinnin valmistelu Visual Components -ohjelmistossa

Ohjelmointi aloitettiin tuomalla malli testikappaleesta simulointiympäristöön. Tämän jälkeen malli ns. hajotettiin osiksi, jotka voitiin asetella lavalle. Tätä varten ohjelmistosta löytyy oma toiminto, jota onkin syytä käyttää, että osien nimeäminen muodostuu oikein. Osien nimillä on merkitystä myöhemmässä vaiheessa, kun osia asetellaan kokoonpanoon. Kuvassa 5 on edellä mainitut toimenpiteet tehtynä ja ollaan valmiita tekemään tarvittavat mallipohjat robotin sykleille, kuten poiminta, uudelleen tartunta ja kokoonpanoon asetus. Mallipohjista lisää seuraavassa.

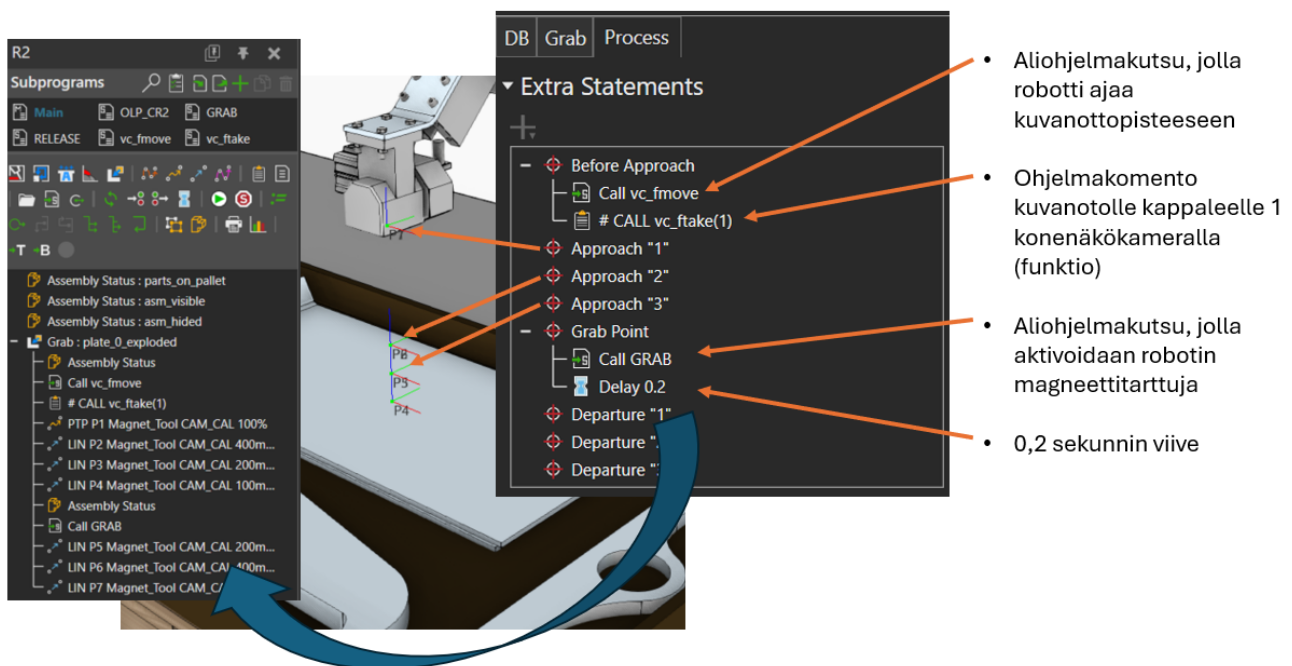


Kuva.5 Kokoonpano ja sen osat mallissa.

8 Robottien ohjelmointi

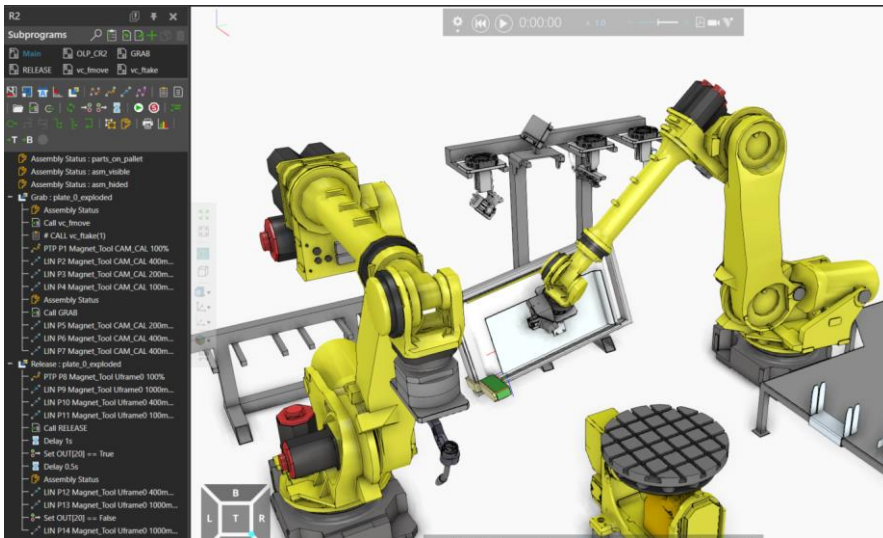
Visual Components on tarjonnut ohjelmistoversiosta 4.9 eteenpäin automaattisia toimintoja kappaleen käsittelyn ohjelmoimiseksi. Käytännössä esimerkiksi yhden osan poiminnan ohjelmointi vaatii käyttäjältä vain muutaman hiiren klikkauksen – osoittamalla halutun poimintapisteen kappaleesta ja valitsemalla toimintoon sopiva pohjamalli (template). Tämä generoi kaikki poimintaan tarvittavat ohjelmakäskyt, kuten lähestymis- ja poistumispisteiden liikeradat sekä pohjamallista tulevat lisäkäskyt. Poiminnan tapauksessa lisäkäskeä voivat olla esimerkiksi aliohjelmakutsu tarttujan aktivointiin poimintapisteessä. Pohjamallien rakentaminen solukohtaisesti nopeuttaa ohjelmointia merkittävästi.

Kuvassa 6 on esimerkki, jossa on kappaleen poimintatoiminnolla klikattu lavalla olevan levymäisen kappaleen pintaan. Kuvan vasemmassa laidassa nähdään generoitunut poimintaohjelma, sisältäen lähestymis- ja poistumispisteet (P1-P7) ja niiden liikekomennot. Lisäksi pisteiden väliin on tullut mallipohjassa (Extra Statements) olevat lisäkäskyt liittyen konenäköavusteiseen poimintaan ja kappaleeseen tarttumiseen.



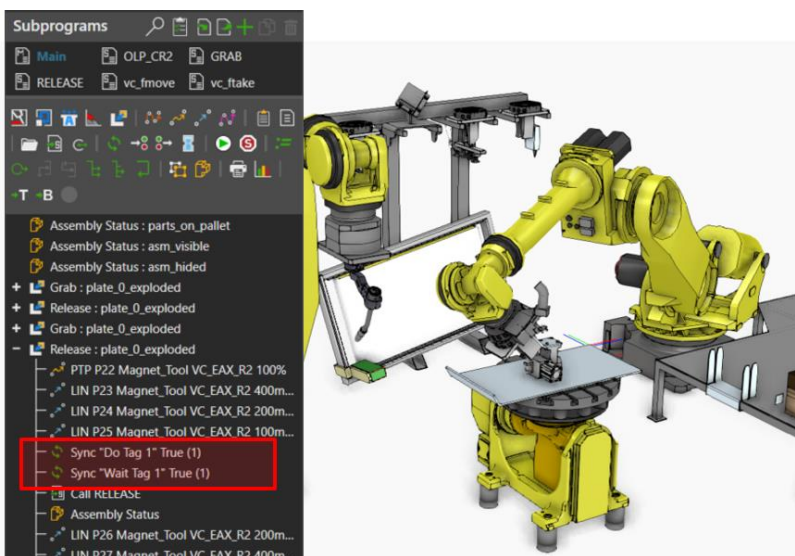
Kuva 6. Esimerkki mallipohjaan lisätyistä ohjelmakomennoista.

Poiminnan jälkeen käyttäjä voi lisätä poimitulle kappaleelle irrotuksen. Irrotus tehdään joko uudelleenpoiminta-asemalle tai suoraan kokoonpanoon. Tässä tapauksessa kaikki osat käytettiin uudelleenpoiminta-asemalla tarkan tartunnan varmistamiseksi. Konenäön avulla ei voida tehdä riittävän tarkkaa poimintaa osalle. Kuvassa 7 nähdään robotti pudottamassa ensimmäistä levyosaa uudelleenpoiminta-asemalle. Pudotuksen ohjelmointi tapahtuu aivan yhtä helposti, kuin poiminnankin. Jos kappale pudotetaan uudelleenpoiminta-asemalle, näytetään kappaleesta ne pinnat, jotka asemalla halutaan kohdistuvan aseman vastinpintoihin. Tämän jälkeen pudotukselle lisätään vielä mallipohja, joka lisää ohjelmaan tarvittavat ohjelmakomennot, kuten kappaleen irrotuksen.



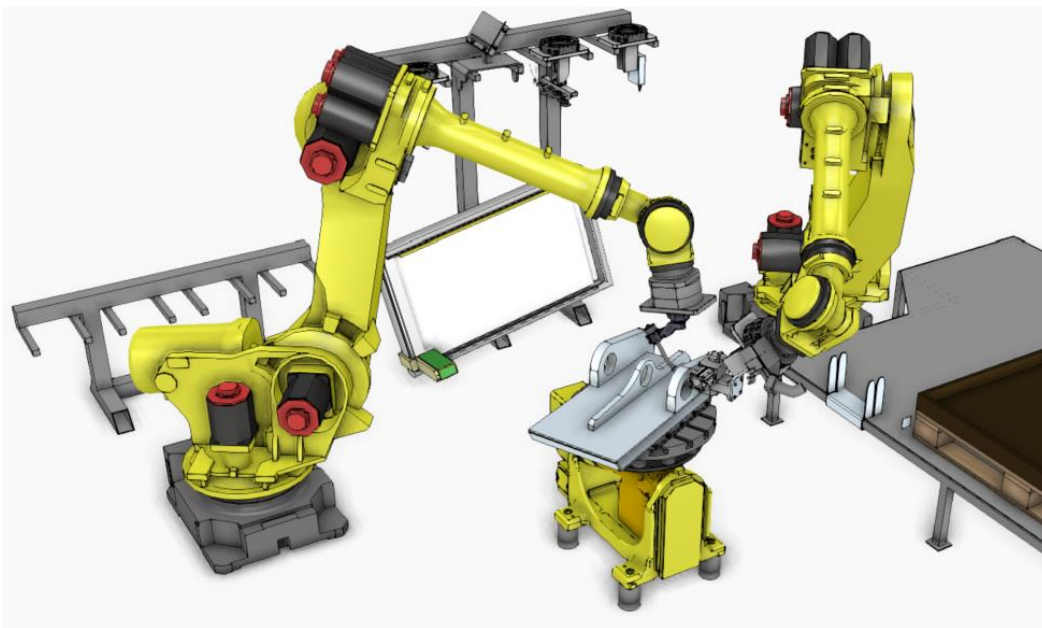
Kuva 7. Kappaleen pudotus uudelleenpoiminta-asemalle.

Osan poiminta asemalta tapahtuu aivan samalla tavalla, kuin lavaltaakin. Seuraavaksi osa halutaan paikoittaa kokoonpanoon (kuva 8). Tämä tapahtuu valitsemalla kokoonpanon listasta oikea komponentti ja lisäämällä jälleen kokoonpanoon sijoitusta varten tehty mallipohja. Tässä tapauksessa mallipohja sisälsi ennen irrotusta synkronointikomennot (kuva 8), joiden avulla kappaleenkäsittelyrobotti keskustelelee hitsausrobotin kanssa. Esimerkiksi kappaleen lukitus kiinnityspöytään tai silloitushitsien tekemisen aloituslupa annetaan näiden synkronointikomentojen avulla.



Kuva 8. Robottien välisen synkronoinnin ohjelmointi

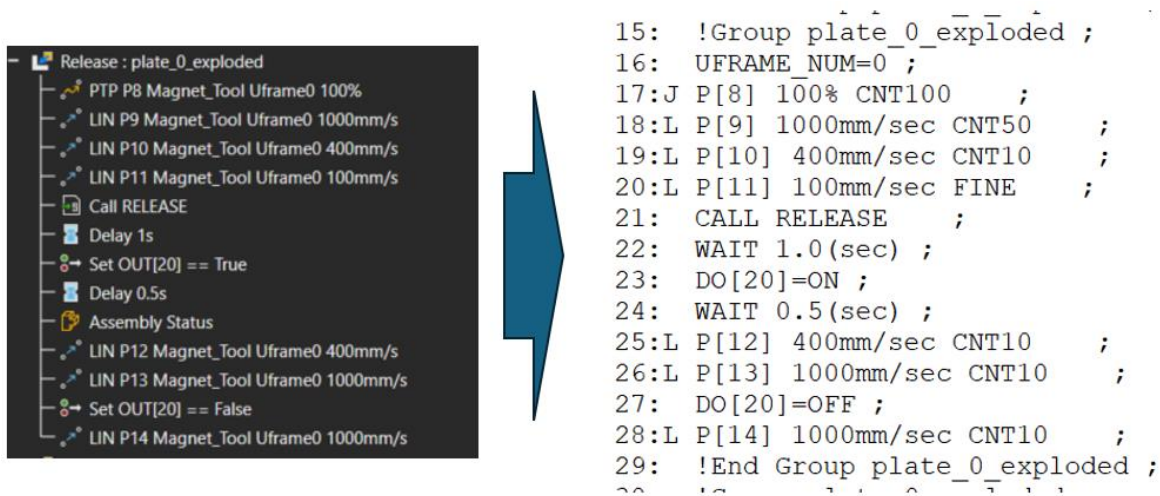
Edellä kuvattu poiminta-pudotus-työkierto ohjelmoitiin myös neljälle muulle osalle. Lisäksi hitsausrobotille generoitiin hitsausradat silloitushitseille. Silloitushitsejä tuli testikappaleeseen tuli kaikkiaan 20 kappaletta. Kuvassa 9 nähdään viimeisen osan hitsausvaihe, jossa kappaleenkäsittelyrobotti pitää hitsattavaa osaa paikoillaan.



Kuva 9. Viimeisen kappaleen hitsauksen ohjelmointi.

9 Postprosessointi

Ohjelmointi Visual Components -ohjelmistossa tapahtuu geneerisillä ohjelmakäskyillä. Nämä ohjelmakäskyt voidaan kääntää, eli postprosessoida lähes minkä tahansa robotin (valtamerkit) natiiville ohjelmointikielelle, tässä tapauksessa Fanucin LS-ohjelmaksi. Kuvassa 10 on vasemmalla Visual Componentsin geneerisiä ohjelmakomentoja ja oikealla sama ohjelmaosio käännettynä Fanuc-robotin kielelle.



Kuva 10. OLP-ympäristön geneerinen käskylistaus käännettynä Fanuc-robotin ohjelmointikielelle.

Postprosessoinnin jälkeen ohjelmat ladataan roboteille ja suoritetaan molempien robottien testityökierto. Tämän manuaalisen ajon aikana suoritetaan kappaleenkäsittelyrobotille mahdolliset paikoituspisteiden muokkaukset, mikäli osat eivät kohdistu rakenteeseen täysin oikein. Virheet kohdistumisvirheistä johtuu siitä, että simulointimallissa ja todellisessa robottiympäristössä on aina jonkin verran eroa. Pisteiden uudelleen kohdistus ensimmäisen testiajon aikana on kuitenkin melko nopea työvaihe ja se tarvitsee tehdä vain kerran. Hitsausrobotille vastaavaa korjausta ei tarvitse tehdä, koska siinä käytettävät railonhaun toiminnot kompensoivat mahdolliset kohdistumisvirheet. Osien kohdistamiseen olisi mahdollista käyttää esimerkiksi laseranturia, samalla tavalla, kuin hitsauksen railonhaussa. Anturoinnin avulla osa saataisiin kohdistumaan aina oikeaan kohtaan, ilman että pisteitä tarvitsisi korjata ensimmäisen työkierron aikana. Tällaista anturia ei ollut käytettävissä testiympäristössä. Hitsausrobotin railonhaussa käytettiin oikosulkuun perustuvaa railonhakua, jossa hitsauslangan päällä haetaan kappaleelle referenssipinnat ja paikoitusta muutetaan mittauksen perusteella.

10 Johtopäätökset

Testikappaleen hitsaus toteutettiin myös todellisessa robottisolussa. Työkierron aika oli noin 5 minuuttia, kun manuaalinen työvaihe saattaa kestää 15–20 minuuttia osien käsittelyineen. Lisäksi todettiin, että standardin SFS-EN ISO 13920:2023, hitsattavien rakenteiden mittatarkkuus voidaan saavuttaa tällä menetelmällä.

Etelä-Pohjanmaalla on muihin maakuntiin nähden huomattavan paljon konepajoja. Myös hitsaavaa teollisuutta on paljon. Edelleen robotisoidussa hitsauksessa käytetään joko paljon manuaalista silloitustyötä tai paikoittimia. Osasyynä tähän on, että monet seudun konepajoista tekevät alihankintatyötä usealle eri asiakkaalle ja tuotekohtaiset tuotantomäärät saattavat olla verrattain pieniä, joten automaattista silloitushitsaustyötä ei nähdä kustannustehokkaaksi. Oplite-hankkeessa tehty yrityspilotti kuitenkin osoittaa, että tehokkaalla ohjelmointiympäristöllä uusien ohjelmien tekeminen, uusille tuotteille jigittömän hitsauksen monirobottisoluissa voidaan tiivistää tunteihin. Tämä pitää sisällään ohjelmien paikoituksen korjaamisen. Pilotissa tehtiin ohjelma kahdelle robotille, joiden kummankin ohjelma sisälsi noin 350 ohjelmakomentoa. Itse ohjelman tekoon kului aikaa noin kaksi tuntia. Täytyy kuitenkin muistaa, että jigittömässä hitsauksessa ohjelmoinnin lisäksi aikaa vievät robottitarttujen ja ensimmäisen kappaleen kiinnittimen suunnittelu ja valmistaminen sekä pisteiden korjaaminen ensimmäisen ajon aikana. Myös pisteiden korjaamisesta päästään eroon sopivaa anturointi käyttämällä. Tämän ja muiden testien perusteella voidaan kuitenkin todeta, että yhdellä magneettitarttujalla voidaan käsitellä hyvin moninaisia teräskappaleita ja yhden kappaleen kiinnittäminen käsittelypöytään onnistuu varsin yksinkertaisella kiinnittimellä.

Magneettitarttujan ongelmana saattaa olla niin sanottu magneettinen puhallus, varsinkin pienien kappaleiden kohdalla, kun hitsauspoltin on lähellä magneettitarttujaa, joka pitää hitsattavaa osaa paikallaan. Testikappaleen osat olivat melko suuria, joten tällaista ilmiötä ei havaittu testeissä lainkaan.