



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Tämä on alkuperäisen artikkelin rinnakkaistallenne (kustantajan versio).

Viite:

Kapela, J. (2024). Teollisuusrobottien ohjelmointi virtuaalitodellisuutta hyödyntäen. Teoksessa S. Päällysaho, P. Junell, M. Salminen-Tuomaala, S. Uusimäki, & M. Karvonen (toim.), *Seinäjoen ammattikorkeakoulu – meidän ammattikorkeakoulu* (s. 247–260). (Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 42).
Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe20241210100893>



TEOLLISUUSROBOTTIEN OHJELMOINTI VIRTUAALI- TODELLISUUTTA HYÖDYNTÄEN

Janne Kapela, insinööri (ylempi AMK), asiantuntija, TKI, SeAMK

1 JOHDANTOA

Teollisuusrobottien ohjelmointimenetelmät ovat kehittyneet nopeasti, ja offline-ohjelmointi on noussut yhdeksi tehokkaimmista tavoista tehdä robottien ohjelmamuutoksia ilman tuotannon keskeytyksiä. Perinteisen online-ohjelmoinnin, jossa robottia ohjataan suoraan fyysisessä tuotantoympäristössä, rinnalle on tullut offline-ohjelmointi, joka mahdollistaa robottien ohjelmoinnin ja testauksen tarkassa 3D-virtuaaliympäristössä. Tämä menetelmä parantaa tuotannon tehokkuutta, sillä robotti voi jatkaa työskentelyä samalla kun uusia ohjelmia kehitetään ja testataan virtuaalisesti. Offline-ohjelmoinnin tarkkuus edellyttää kuitenkin, että fyysinen tuotantoympäristö on mallinnettu huolellisesti virtuaaliseen muotoon.

ABB RobotStudio on yksi johtavista offline-ohjelmointityökaluista, joka mahdollistaa robottien tarkat simuloinnit ja ohjelmoinnit virtuaalitodellisuudessa (VR). RobotStudion VR-ominaisuudet tarjoavat käyttäjille mahdollisuuden ohjelmoida ja tarkastella robottisolua realistisesti, aivan kuin robotti olisi fyysisesti läsnä. Tämä lisää ohjelmointiprosessin tarkkuutta ja mahdollistaa monimutkaisten liikeratojen suunnittelun intuitiivisesti. VR:n avulla voidaan järjestää myös virtuaalisia suunnittelukokouksia, joissa osallistujat voivat tarkastella ja muokata simulointimalleja yhdessä, vaikka olisivat fyysisesti eri paikoissa.

Artikkelissa tarkastellaan ABB RobotStudion VR-ympäristön historiaa ja sen kehittymistä vuosien aikana. Verrataan online- ja offline-ohjelmointia ja kerrotaan mitkä ovat niiden keskeisimmät eroavaisuudet. Tutustutaan ABB RobotStudion VR-ympäristön valikkoihin ja käyttöliittymän

toimintaan. Artikkelissa myös opetetaan, miten VR-ympäristöön on mahdollisuus lisätä virtuaalinen robotin käyttöliittymä (Virtual FlexPendant) niin, että sen avulla voidaan ohjata robottia interaktiivisesti, kuten oikea robottia.

2 ONLINE- JA OFFLINE-OHJELMOINTI

Teollisuusrobottien ohjelmointimuutoksia voidaan tehdä online- ja offline-ohjelmointina. Online-ohjelmoinnissa robotin liikekäskyt luodaan ohjaamalla fyysistä robottia suoraan tuotantoympäristössä. Ohjelmoija asettaa robotin käsiohjaimella halutut pisteet ja määrittää näiden pisteiden välille tarvittavat liikkeet. Tämä menetelmä edellyttää, että robotti on poissa tuotantokäytöstä ohjelmoinnin ajan (Visual Components, 2024).

Offline-ohjelmoinnissa ohjelmointi tapahtuu erillisellä tietokoneella, jossa käytetään tarkkaa 3D-mallia robotin todellisesta ympäristöstä. Ohjelmointi ja testaus tehdään simuloimalla robotin liikkeitä virtuaalisessa ympäristössä, mikä mahdollistaa ohjelmointimuutosten tekemisen ilman tuotannon keskeyttämistä. Tämä vähentää seisokkiaikaa ja parantaa tuotannon tehokkuutta, sillä robotti voi tehdä työtään samaan aikaan, kun uusia ohjelmia kehitetään (Visual Components, 2024).

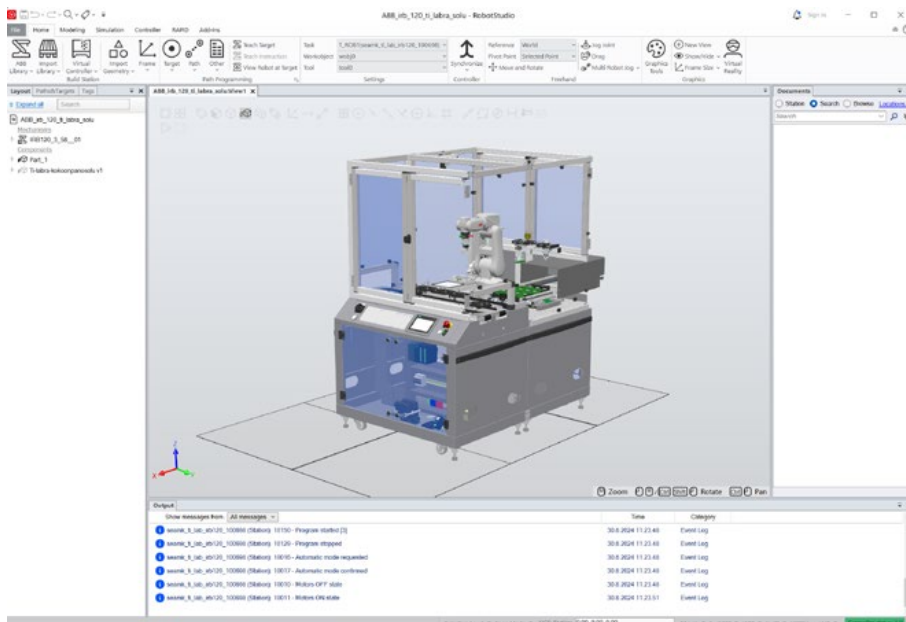
Offline-ohjelmoinnin onnistumiseksi fyysisen tuotantoympäristön on oltava mallinnettu riittävän tarkasti, suurien ympäristöjen mallinnuksessa voidaan käyttää apuna 3D-skannausta (Liuha ym., 2023, s. 72). Ennen kuin simulaatiomallin avulla tehty ohjelma siirretään tuotantokäyttöön, on simulointimalli kalibroitava vastaamaan todellista ympäristöä (mts. 253). Eroavaisuudet virtuaalisen ja fyysisen mallin välillä pyritään saamaan kalibroinnin avulla selville sekä kompensoimaan mahdolliset erot (mts. 253). Kalibroinnilla tarkoitetaan todellisen robottisolun mittaamista ja tulosten siirtämistä simulointiympäristöön, jolloin simulointimalliin saadaan komponenttien asennot ja sijainnit vastaamaan todellisuutta (mts. 259).



Kuvio 1. Todellinen robottisolu vasemmalla sekä oikealla offline-ohjelmointiin käytettävä simulaatiomalli ABB RobotStudio-soveluksessa.

3 ABB ROBOTSTUDION VR-YMPÄRISTÖ

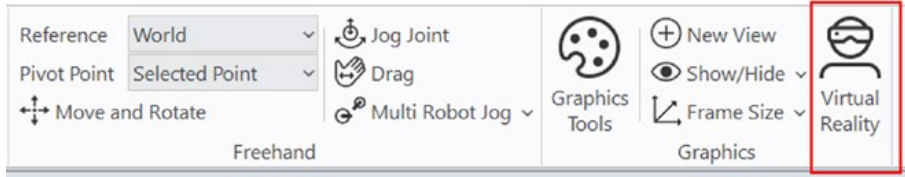
ABB RobotStudio on ABB-teollisuusrobottien offline-ohjelmointiin ja simulointiin keskittynyt ohjelmisto, joka mahdollistaa robotin ohjelmoinnin ja konfiguroinnin etukäteen ilman tuotannon pysäyttämistä. Sovellus perustuu ABB Virtual Controller-ohjelmistoon, joka on tarkka kopio todellisesta robotin käyttöjärjestelmästä (ABB, 2024). ABB RobotStudion VR-ominaisuudet esiteltiin ensimmäistä kertaa vuonna 2016 julkaistussa RobotStudion 6.04 versiossa, jossa simulointimallia pystyi tarkastelemaan VR-tilassa (ABB, 2016). Vuonna 2018 toiminnallisuuksia laajennettiin ja versiosta 6.07 alkaen robotin ohjelmointi VR-ympäristössä on ollut mahdollista mutta vaatii toimiakseen Premium-lisenssin. Samassa päivityksessä julkaistiin myös tuki virtuaalisille kokouksille, jossa useat osallistujat jakavat saman simulointimallin virtuaalisessa ympäristössä, joka mahdollistaa kollaboratiivisen suunnittelun (ABB, 2018). Kollaboratiivisessa suunnittelussa suunnittelija voi liittyä virtuaalimaailmaan omalta työpisteeltään VR-laseilla ja verkkoyhteydellä, ilman tarvetta fyysisesti olla samassa tilassa. Ääniyhteyden avulla ryhmän jäsenet kommunikoivat keskenään, ja VR-laseja käyttävien henkilöiden käsien ja pään liikkeet välittyvät muille avatar-hahmon kautta (Kapela ym., 2020).



Kuvio 2. ABB RobotStudio käyttöliittymä, jossa havainnollistettuna kuvion 1 Offline-ohjelmointiin käytettävä malli.

Vuonna 2020 RobotStudio VR-toiminnallisuuden käytettävyyttä parannettiin selkeyttämällä käyttöliittymän rakennetta ja vanha kuution eri sivuille rakennetun pyöritettävän valikon rakenne muutettiin kuvion 4 mukaiseksi. Päivitys sisälsi myös parannuksia käyttäjien liikkumiseen VR-ympäristössä sekä lisäsi uusia laitteita tuettujen VR-lasien listalle yksi näistä oli Valve Index (ABB, 2020). Vuonna 2021 julkaistussa RobotStudio 2022.3 päivityksessä robotin ohjelmoinnin ja liikuttamisen helpottamiseksi lisättiin kuvion 5 mukainen gizmo-työkalu perinteiseen simulaationäkymään mutta myös VR-tilaan, joka mahdollistaa robotin liikuttamisen tarkasti x-, y- ja z-akseleiden suuntaisesti. VR-valikkoon lisättiin myös painikkeet, joilla voi vaihtaa aktiivisena olevaa työkalu- tai työkohdekoordinaatistoa, jotka ovat keskeisessä roolissa robotin liikekäskeyä määrittäessä (ABB, 2021).

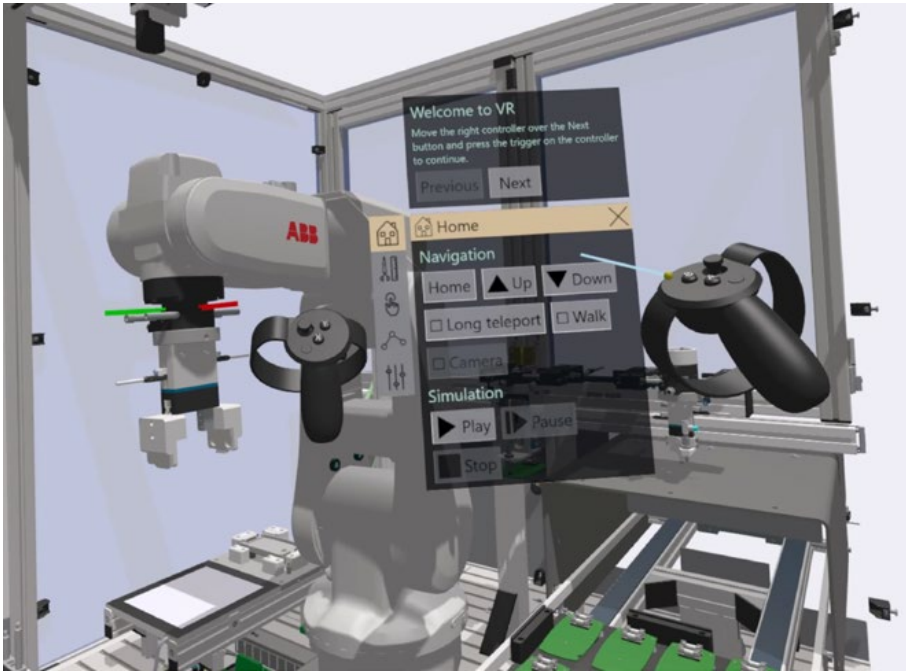
VR-sovellus tukee Metan sekä SteamVR-yhteensopivia VR-laseja. VR-tila saadaan aktivoitua suoraan RobotStudio työkaluriviltä kuvion 3 mukaisesta painikkeesta. Painike ilmestyy silloin, kun RobotStudio havaitsee VR-lasien olevan kytkettynä tietokoneeseen. Jos RobotStudio on käynnistetty ennen kuin lasit ovat liitettyinä tietokoneeseen painike ei ilmesty ja RobotStudio on käynnistettävä uudelleen.



Kuvio 3. ABB RobotStudion VR-tilan käynnistävä painike löytyy sovelluksen yläreunassa olevalta työkaluriviltä nimeltään "Virtual Reality".

VR-näkymässä vuorovaikutus mallin kanssa tapahtuu VR-lasien ohjaimien avulla. Vasen ohjain toimii käyttöliittymänä ja oikea ohjain osoittimenä, jolla haluttu toiminto valitaan. Käyttöliittymä on havainnollistettu kuviossa 4. Valikon rakenne vakioitui vuoden 2020 päivityksessä viiteen eri päätasoon, jotka ovat seuraavat:

1. Home (navigointi ja simulaatio) mahdollistaa kameran liikkuttamisen ylös ja alas, palaamisen mallin keskipisteeseen, simulaation käynnistämisen ja pysäyttämisen lisäksi valikosta löytyy toiminto VR-lasien näkymän nauhoittamiseen videoksi).
2. Edit (editointi) mahdollistaa käytetyn toiminnon kumoamisen "undo" tai uudelleen aktivoimisen "redo" sekä erilaisten tekstien tai nuolien lisäämisen virtuaalimaailmaan tuomaan lisäinformaatiota.
3. Manipulate (manipulointi) mahdollistaa tarttumisen virtuaalimaailmassa oleviin objekteihin ja niiden liikkuttamisen sekä robotin liikkeen lukitsemisen tietyn akselin suuntaisesti, joka helpottaa ohjelmointia.
4. Path (robotin liikekäskyjen opetus ja muokkaus sekä robotin akselikonfiguraatioiden määrittäminen).
5. Settings (käyttöliittymän asetukset).



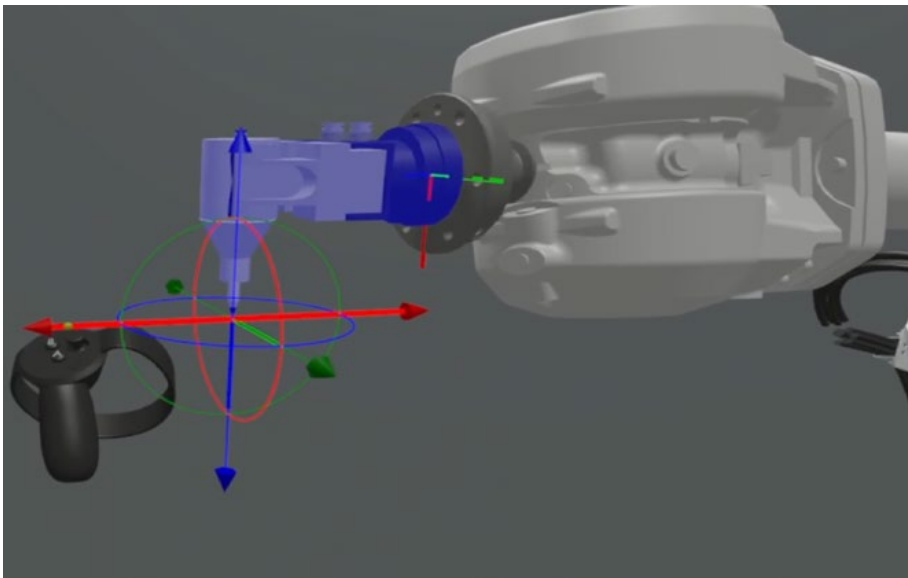
Kuvio 4. Robottisolun tarkastelua VR-ympäristössä.

4 ROBOTIN OHJELMOINTI VR-YMPÄRISTÖSSÄ

Teollisuusrobotiikan näkökulmasta yksittäisten komponenttien ja robottien todellisia mittasuhteita ja liikenopeuksia on helpompi hahmottaa virtuaaliodellisuudessa verrattuna perinteiseen työpöytäsovellukseen, jossa mittasuhteiden hahmottaminen vaatii enemmän taustatietoa (Liuha ym., 2023, s. 274). Virtuaaliodellisuudessa käyttäjän on mahdollisuus liikuttaa robotin yksittäisiä akseleita tai työkalupistettä, tämä ohjelmointitapa perustuu robotin johdattamiseen (mts. 275).

Seinäjoen ammattikorkeakoulussa RobotStudio VR-ympäristön mahdollisuuksiin on tutustuttu ensimmäisen kerran vuonna 2019 Mobiili VR/AR pk-teollisuudessa hankkeen aikana. Siitä alkaen RobotStudio uusia VR-ominaisuuksia on testattu ja tutkittu Seinäjoen ammattikorkeakoulun XR-laboratorion asiantuntijoiden toimesta. ABB RobotStudio on yksi keskeisempiä sovelluksia insinööriopiskelijoiden robotiikan koulutuksessa.

VR-tilassa robotin ohjelmointia voidaan tehdä eri tavoilla. Yhtenä vaihtoehtona on tarttua robotin työkalusta kiinni ohjaimella ja sen jälkeen liikuttaa robotti haluttuun pisteeseen ja tallentaa se liikekäskeksi. Kyseinen ohjaustapa toimii hyvin esimerkiksi hitsauksessa tai erilaisissa poiminta- ja kokoonpano sovelluksissa, joissa opetettavat pisteet ovat hyvin yksinkertaisia. Toisena vaihtoehtona on nauhoittaa toteutunut liikerata robotin liikekäskeiksi. Siinä VR-lasien käyttäjä liikuttaa robottia ja toteutunut liike tallennetaan kokonaisuudessaan talteen ja sen avulla robotti pystyy toistamaan käyttäjän luoman liikeradan. Tämä vaihtoehto toimii sovelluksissa, jossa ihmisen liikkeillä on vaikutusta prosessin toimintaan kuten maalauksessa. Maalarit tietävät kokemuksen perusteella tarvittavan etäisyyden kappaleeseen, millaisessa ruiskun kulmassa maalaus kannattaa toteuttaa ja mikä on oikeanlainen maalausjärjestys tai liikesuunta. Kaiken tämän tärkeän informaation maalari pystyy siirtämään osaksi robotin ohjelmaa hyödyntäessään simulointimallia sekä VR-ympäristöä.



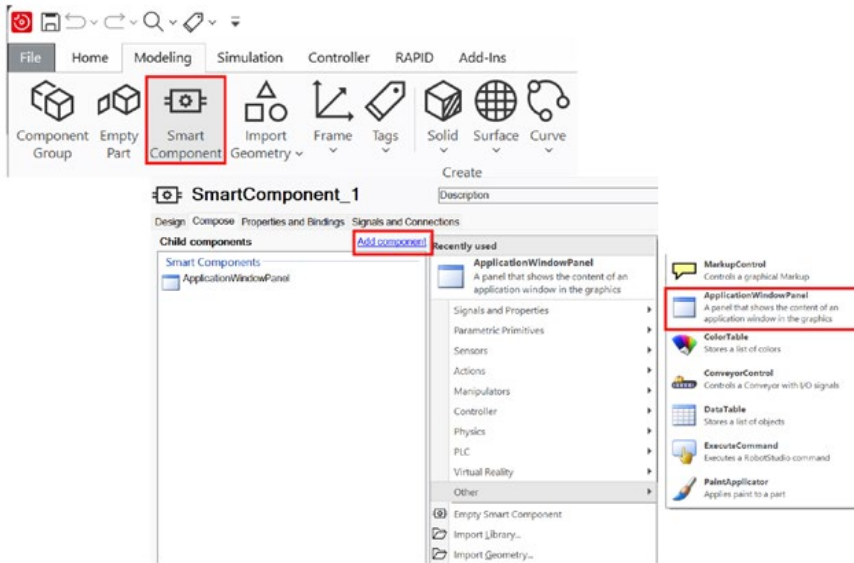
Kuvio 5. Robotin liikuttaminen VR-ympäristössä tapahtuu koskettamalla ohjaimella robotin työkalua ja painamalla ohjaimessa olevaa liipaisinta, tämän jälkeen robotti seuraa ohjainta, kunnes painike vapautetaan.

4.1 Robotin käytön harjoittelu

Robottien etäohjelmoinnin lisäksi virtuaalitodellisuus tarjoaa mahdollisuuden integroida käyttäjän omia liikkeitä osaksi oppimisprosessia. Käyttäjä toimii virtuaalisen robotin kanssa samalla tavalla kuin oikean robotin kanssa toimisi, ja tehdyt liikkeet omilla kehonosilla luovat vahvan muistijäljen tehdystä työstä. Tämä aktiivinen osallistuminen ja kokemuksellinen oppiminen auttavat käyttäjää hahmottamaan työvaiheet. Lihasmuistiin tallentuneet liikkeet yhdessä visuaalisen oppimisen avulla helpottavat työtehtävän toteutusta todellisessa tilanteessa. Virtuaalisessa ympäristössä operaattori voi tutustua robottisolun toimintaan etukäteen ja harjoitella vaarallisiakin työvaiheita täysin turvallisesti. Tarvittaessa harjoitteita voidaan toistaa useita kertoja simuloitussa ympäristössä. Virtuaalisissa simulointiympäristöissä toteutetut interaktiiviset käyttö- ja turvallisuuskoulutukset tarjoavat turvallisen vaihtoehdon harjoitella robottien kanssa työskentelyä (Liuha ym., 2023, s. 275).

4.2 ABB RobotStudio ApplicationWindowPanel Smart Component

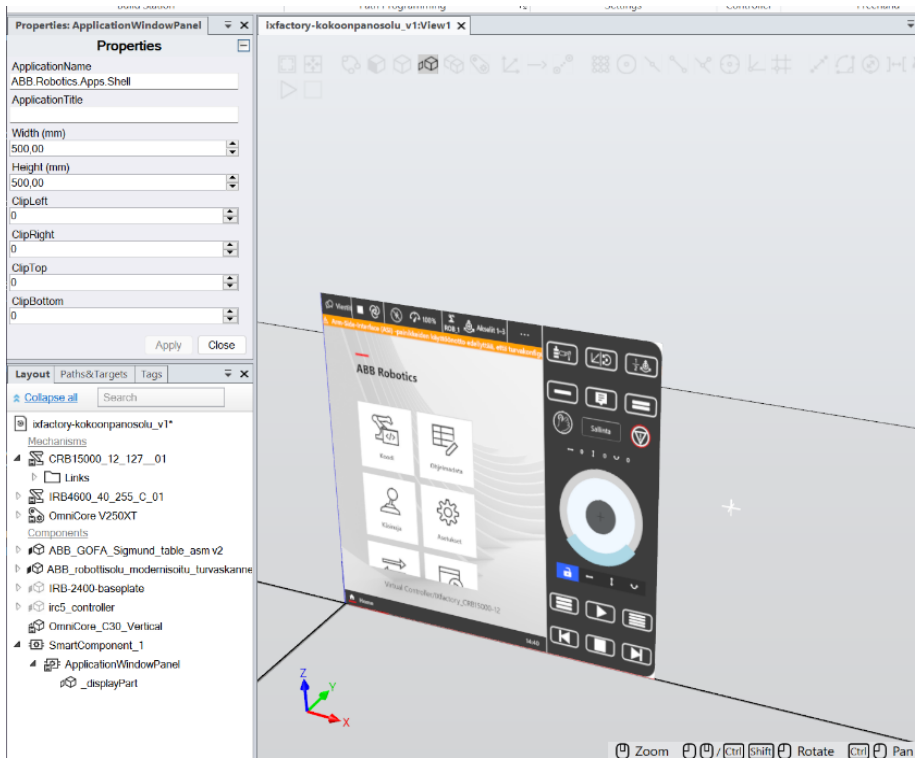
RobotStudioon on toteutettu ominaisuus, joka mahdollistaa tietokoneella aktiivisena olevan ikkunan heijastamisen simulaatiomallissa näkyväksi graafiseksi elementiksi. Tämä heijastaminen toimii perinteisen simulaatiomallin lisäksi myös VR-tilassa, joka mahdollistaa erilaisten sovellusten interaktiivisen vuorovaikutuksen virtuaalisesta maailmasta käsin. Toiminto ei ole suoraan valikossa vaan sen käyttöönottamiseksi on rakennettava yksinkertainen Smart Component. Smart Componentit ovat komponentteja, joita käytetään lisäämään erilaisia toiminnallisuuksia simulaatiomalliin. Aktiivisten sovellusikkunoiden heijastamiseen tarvittava komponentti löytyy, Smart componentin -luontovalikosta. "Add component". Valitaan kategoria "Other" ja sieltä "ApplicationWindowPanel"-komponentti. Komponentin lisääminen on havainnollistettu kuviossa 6.



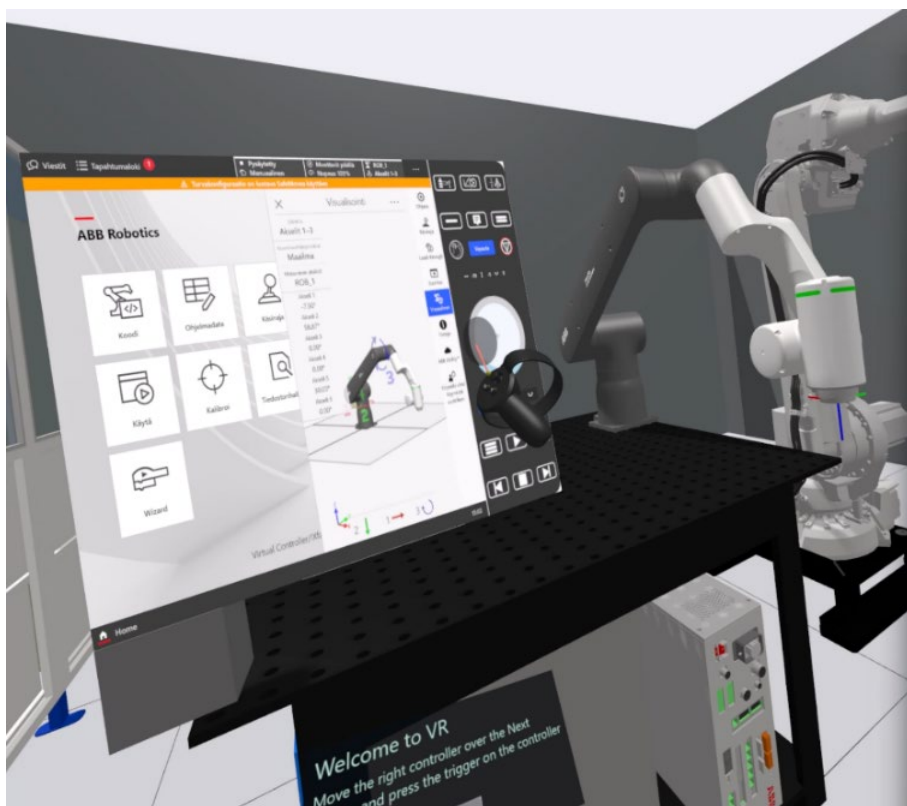
Kuvio 6. ApplicationWindowPanel-komponentti, jolla tietokoneella olevia aktiivisia ikkunoita voidaan heijastaa simulaatioympäristöön interaktiivisesti käytettäväksi.

Komponentille on olemassa muutama erilainen parametri, jotka määrittelevät simulaatiomallissa näkyvän ikkunan koon sekä esitettävän kuva-alueen rajaamiseen liittyvät määrytykset. Nämä asetukset on havainnollistettu kuviossa 7. ApplicationName kohtaan syötetään heijastettavan sovelluksen nimi, joka löytyy Windowsin tehtävähallinnasta. Esimerkiksi Microsoftin Paint-sovelluksen heijastamiseksi tulee kyseiseen kenttään kirjoittaa mspaint vaikka prosessin nimi on mspaint.exe. Sovelluksen tiedostopäätte jätetään pois. RobotStudioissa on mahdollisuus käyttää FlexPendant-sovellusta, joka avaa erilliseen ikkunaan interaktiivisen todellista robotin käsiohjainta vastaavan käyttöliittymän. Tämä käyttöliittymä on linkitettyä virtuaaliseen robottiin, ja käyttöliittymän painikkeet toimivat kuten oikeassa robotissa. Sovelluksen avulla robotin käyttöliittymään voidaan tutustua virtuaalisesti. Kuviossa 7 on ApplicationWindowPanel-komponentin avulla tuotu robotin käyttöliittymä simulaatioympäristöön. Komponentti edellyttää, että heijastettava ikkuna on aktiivisena ja päällimmäisenä näkyvissä Windowsin työpöydällä, tästä syystä ohjaimen ikkuna kannattaa siirtää erilliselle näytölle, jossa se ei ole tiellä. Virtuaalinen FlexPendant saadaan näkyviin

sen ollessa käynnissä kirjoittamalla ApplicationName-kenttään "ABB.Robotics.Apps.Shell" ilman tiedostopäätettä. VR-ympäristöön tuotuja ikkunoita pystytään käyttämään oikean käden ohjaimella, joka toimii virtuaalisena hiirenä. VR-ohjaimen liipaisinpainike toimii hiiren vasemman painikkeen tavoin ja ohjaimen sivussa oleva puristuspainike toimii hiiren oikeana-painikkeena. Tämä virtuaalinen hiiritoiminto mahdollistaa heijastettujen sovelluksien interaktiivisen käytön suoraan VR-ympäristöstä.

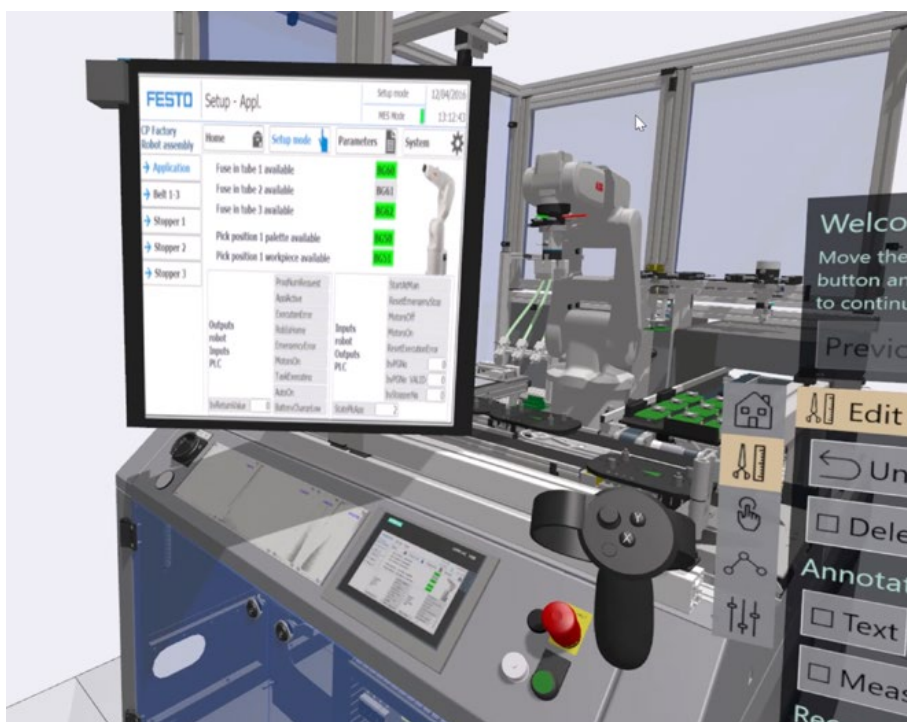


Kuvio 7. ApplicationWindowPanel-komponentin parametrit.



Kuvio 8. Yhteistyörobotin virtuaalinen käsiohjain (FlexPendant) on heijastettu VR-ympäristöön ja sitä voidaan käyttää interaktiivisesti robotin toimintojen suorittamiseen.

ApplicationWindowPanelia voidaan hyödyntää myös virtuaalisessa käyttöönotossa heijastamalla samaan järjestelmään kuuluvia käyttöliittymiä ja testaamalla niiden toimivuutta ja käytettävyyttä robottisolun suunnittelun aikana. RobotStudiosta löytyy myös Siemens SIMITConnection rajapinta, jonka avulla Siemensin ohjausjärjestelmiä voidaan liittää RobotStudioon virtuaalisen käyttöönoton toteuttamiseksi.



Kuvio 9. Robottisolun HMI-paneelin näkymä heijastettuna VR-malliin.

5 YHTEENVETO

Virtuaalitodellisuus mahdollistaa robottisolun katselmuksen lisäksi myös monia muita mahdollisuuksia hyödyntää VR-laseja osana suunnittelua. Katselmuksessa robottisolua voidaan tutkia yksin tai yhdessä muiden kanssa käyttämällä virtuaalista kokoustoimintoa, joka mahdollistaa solun jakamisen muille RobotStudio käyttäjille. Virtuaalitodellisuudessa suunniteltavan ympäristön mittasuhteet pystytään hahmottamaan tarkemmin ja todentuntuisemmin. Robotin ulottuvuudet sekä tarvittavat turvaetäisyydet koneturvallisuuden varmistamiseksi on myös helpompi validoida virtuaalimallia hyödyntäen. Virtuaalitodellisuudessa tapahtuvaa robotin ohjelmointia hyödynnetään yrityksissä etenkin maalausrobottien opetuksessa. RobotStudio tarjoaa VR-toiminnallisuuksia, jotka ovat käyttäjäystävällisempiä kuin monissa perinteisissä CAD-suunnitteluohjelmissa. Robotin ohjelmoinnissa oli muistettava luoda aluksi perinteisellä simulointipuolella polku (path), johon opetetavat

pisteet tallennetaan ja vasta sen jälkeen siirtyä VR-ympäristöön. Syynä tähän oli, että VR-ympäristössä ei ollut mahdollista luoda paikkapisteitä, jos polkua, johon paikkapisteet linkitetään ei ollut etukäteen määritetty. Ohjelmointi ympäristössä oli helppoa ja nopeaa sillä robotin työkalusta tarttuminen mahdollisti robotin siirtämisen haluttuun paikkaan. Työkalun asennon muuttaminen oli myös yksinkertaista sillä, tartuttaessa robotin työkaluun, robotti seuraa ohjaimen liikettä ja asentoa. Luotujen liikekäskyjen parametrejä pystyy myös muokkaamaan kuten liikenopeutta ja tarkkuutta. Näiden käskyjen muokkaaminen on kuitenkin nopeampaa RobotStudion omassa Rapid-editorissa, jossa robotin ohjelmakoodi kirjoitetaan. Virtuaalitodellisuus ei tule korvaamaan perinteistä offline-ohjelmointia, sillä tekoäly mahdollistaa entistä helpompia tapoja luoda robotin ohjelmia suoraan simulointimallia hyödyntäen automatisoimalla erilaisia toimintoja. Virtuaalitodellisuus toimii parhaiten offline-ohjelmoinnin rinnalla työkaluna, joka mahdollistaa ohjelmakoodin validoinnin ja solun suunnitteluun liittyvien teknisten yksityiskohtien tarkastelun todellisessa mittakaavassa olevassa ympäristössä.

6 LOPUKSI

Artikkeli on valmisteltu osana IXFactory investointi- ja kehityshanketta, joka on Euroopan unionin osarahoittama. Haluamme kiittää Etelä-Pohjanmaan liittoa hankkeen ja artikkelin rahoittamisesta.

LÄHTEET

ABB. (2016). *Release notes: RobotStudio 6.04*. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106930A3421&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB. (2018). *Release Notes: RobotStudio 6.07*. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A2064&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB. (2020). *Release Notes: RobotStudio 2020.1*. <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107991A0515&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

ABB. (2021). *Release Notes: RobotStudio 2022.3*. <https://library.e.abb.com/public/448aeb7207d34d8f8fca5c1da9ec05fc/RobotStudio%202022.3%20Release%20Notes.pdf>

ABB. (2024). *RobotStudio*[®]. <https://new.abb.com/products/robotics/robot-studio/robotstudio-desktop>

Kapela, J., Frimodig, A., & Hellman, T. (2020). Kollaboratiivinen VR-suunnittelun uusi aikakausi. Teoksessa S. Päällysaho, P. Junell, J. Latvanen, S. Saarikoski, & S. Uusimäki (toim.), *Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2020: Osaamista strategian vahvuusaloilla* (s. 130–140). (Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 33). <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202101071213>

Liuha, A., Latokartano, J., Lempiäinen, J., Billing, M., Välimäki, K., & Niemelä, M. (2023). *Teollisuuden robotiikka*. Suomen Robotiikkayhdistys.

Visual Components. (2024). *Robot offline programming (OLP): The complete guide (with examples)*. <https://www.visualcomponents.com/blog/offline-robot-programming-olp-the-complete-guide-with-examples/>