

Projekt i oprogramowanie zrobotyzowanej stacji spawalniczej z wykorzystaniem technologii wirtualnej rzeczywistości

Paulina Pietruś, Magdalena Muszyńska, Dariusz Szybicki

Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Katedra Mechaniki Stosowanej i Robotyki, Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów

Streszczenie: Zastosowanie technologii VR w przemyśle stale rośnie. System ten znacznie ułatwia pracę inżyniera, pozwalając użytkownikowi na interakcję z modelami 3D za pomocą gogli wirtualnej rzeczywistości. W artykule przedstawiono projekt i oprogramowanie zrobotyzowanej stacji umożliwiającej tworzenie instrukcji ruchu z wykorzystaniem technologii wirtualnej rzeczywistości. Dokonano przeglądu istniejących rozwiązań przemysłowych, wykorzystujących technologię VR w symulatorach spawalniczych oraz innych branżach przemysłu. Zaprezentowano oraz zbudowano projekt stacji spawalniczej w środowisku RobotStudio. Napisano oprogramowanie, wykorzystujące wirtualną rzeczywistość oraz wykonano model rzeczywistego narzędzia metodą druku 3D. Przeprowadzono testy zaprojektowanej stacji spawalniczej.

Słowa kluczowe: wirtualna rzeczywistość, stacja zrobotyzowana, proces spawania, RobotStudio

1. Wprowadzenie

Wirtualna rzeczywistość to trójwymiarowa symulacja, która została wygenerowana komputerowo. Imituje ona świat realny lub stanowi wizję świata fikcyjnego. Technologia VR (ang. *virtual reality*) polega zarówno na odwzorowaniu rzeczywistości otaczającego nas świata, jak i generowaniu różnej od rzeczywistości symulacji [1]. Początkowo szeroko pojęta wirtualna rzeczywistość była kojarzona głównie z przemysłem rozrywkowym. Dziś jednak coraz częściej wykorzystuje się jej możliwości w innych branżach, takich jak motoryzacja, przemysł zbrojeniowy, lotnictwo czy IT. Wirtualna rzeczywistość rozwija się coraz szybciej, stąd też wkroczyła do dziedziny automatyzacji. ABB jest jedną z pierwszych firm, która wprowadziła do swojej oferty programowanie z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości za pośrednictwem oprogramowania RobotStudio. System ten znacznie ułatwia pracę inżyniera, pozwalając użytkownikowi na interakcję z modelami 3D za pomocą gogli wirtualnej rzeczywistości. Użytkownicy mogą obserwować odtwarzany cykl pracy i symulować operacje, które mogą być niebezpieczne lub fizycznie niemożliwe do wykonania w rzeczywistości. Dodatkowo widok operatora VR jest udostępniany na ekranie komputera, co daje możliwość współpracy wielu specjalistów nad optymalnymi rozwiąza-

niami [2]. Programowanie jest dziedziną, w której zastosowanie wirtualnej rzeczywistości przyniosło wiele korzyści. Jedną z nich jest ograniczenie stresu, któremu poddany jest człowiek w czasie nauki programowania. Korzyści płynące z zastosowania wirtualnych modeli 3D pozwalają na zaoszczędzenie czasu i kosztów projektowania zrobotyzowanych stacji. Umożliwiają symulację działania, dzięki której można zyskać pewność, iż w rzeczywistości zbudowane rozwiązanie nie jest obciążone błędami [3].

2. Analiza istniejących rozwiązań

Zastosowanie technologii VR w różnych branżach, m.in. w przemyśle stale rośnie. Co roku obszar jej potencjalnego wykorzystania zwiększa się, a same narzędzia służące do generowania wirtualnej rzeczywistości stają się jeszcze bardziej zaawansowane oraz zdolne do uzyskania wyższego stopnia immersji [4]. Aplikacje przemysłowe oraz systemy edukacyjne z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości stają się popularniejsze. Ich zaletą w porównaniu do konwencjonalnych metod nauczania jest ograniczenie kosztów związanych z wyszkoleniem nowego pracownika oraz kosztów eksploatacyjnych stanowiska treningowego. Samo przeprowadzenie wirtualnego treningu pozwala na testowanie różnych scenariuszy, które w przyszłości pozwolą ograniczyć czas, jaki pracownik musi poświęcić na pokonanie różnych problemów [4, 5].

Obecnie istnieje wiele przykładów zastosowania wirtualnej rzeczywistości. Jednym z nich jest symulator spawania Lincoln Electronic VRTEX360 (Rys. 1). Jest to system szkoleniowy opracowany przez firmę LINCOLN ELECTRONIC celem przeprowadzania szkoleń spawalniczych. Stanowi platformę do podstawowego i zaawansowanego szkolenia spawaczy, a także jest narzędziem do testowania i rekrutacji nowych pracowników.

Autor korespondujący:

Paulina Pietruś, p.pietrus@prz.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 05.07.2021 r., przyjęty do druku 10.08.2021 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 1. Zastosowanie symulatora spawalniczego VRTEX 360 [6]
Fig. 1. Application of the VRTEX 360 welding simulator [6]

Wykonanie przez spawacza spoiny na rzeczywistym półfabrykacie nie dostarcza istotnych informacji. Testy niszczące czy nieniszczące złącza spawanego mogą zostać przeprowadzone dopiero po zakończeniu procesu spawania. Właśnie w tym sektorze, a mianowicie technik szkoleniowych, wirtualna rzeczywistość udostępnia swoje zalety. VR umożliwia dostarczenie pełnych informacji o symulowanym procesie, jak prędkość spawania, kąt spawania, długość łuku czy pozycjonowanie narzędzia spawalniczego. System nie daje możliwości odczuwania ciepła czy siły tarcia występującej w trakcie procesu spawania, mimo to od operatora wymagane jest manipulowanie narzędziem tak, jak w trakcie rzeczywistego procesu [6, 7]. Symulatory spawania VR mogą być stosowane przez użytkowników, którzy nie posiadają żadnego doświadczenia. Ze względu na brak szkodliwego działania procesu spawania na organizm człowieka i jego środowisko takich jak iskry, pyły i dymy nieorganiczne, promieniowanie, są one jedynie cyfrową symulacją rzeczywistości. Dlatego nie wymaga się stosowania dodatkowych środków ochrony osobistej [6]. VRTEX 360 umożliwia odwzorowanie spawania łukowego z wykorzystaniem realistycznej grafiki i dźwięków. Daje możliwość symulacji szerokiej gamy spoin. Helm VR symulatora ma możliwość emisji dźwięku stereo oraz obrazu o rozdzielczości 800×600 pikseli przy 24-bitowej głębi obrazu. W skład zestawu wchodzi [6, 7]:

- monitor udostępniający podgląd aktualnie symulowanego procesu dla nauczycieli i uczniów,
- joystick umożliwiający poruszanie się po opcjach symulatora,
- pokrętła odpowiadające za manipulowanie prędkością podawania drutu lub natężenia prądu w zależności od wybranego procesu spawania,
- port USB do wgrzywania oprogramowania oraz do pobierania danych wygenerowanych przez użytkownika,
- przełącznik wyboru procesu do zaprezentowania wirtualnego procesu spawania (GMAW, FCAW lub SMAW),
- przełącznik biegunowości do zmiany polaryzacji dla dowolnego procesu.

Symulator ma trzy poziomy rozwijania umiejętności: podstawowy skupiający się na nauce samej techniki, średniozawansowany przeznaczony dla uczniów z doświadczeniem i zawansowany, w którym tolerancje są ustawione bardzo wysoko, co zmusza operatora do doskonalenia umiejętności [7].

Kolejnym przykładem zastosowania VR jest Aircraft Deicing Operator Training Simulator (Rys. 2). Jest to lotniczy symulator umożliwiający szkolenie operatorów odladzających samolot, wyprodukowany przez firmę ForgeFX Simulations. Używany jest przez obsługę naziemną lotnisk cywilnych jak i wojskowych. Operator dzięki wielu zaprojektowanym scenariuszom jest przygotowany do pracy w trudnych warunkach pogodowych [8].

Symulator umożliwi szkolenie w obsłudze odladzania wielu typów samolotów, w różnych warunkach środowiskowych, w zależności od temperatury, prędkości wiatru, po rodzaj i intensywność opadów. Jedną z korzyści jest ograniczenie stosowania drogiego w eksploatacji sprzętu obsługi naziemnej, co pozwala generować oszczędności. Symulator jest wyposażony w monitor i joysticki oraz odpowiednio odzwierciedlone wyposażenie kabiny [8, 9]. Oprogramowanie tworzy raport określający wydajność pod względem zużycia płynu, ilości usuniętych zanieczyszczeń czy czas, w jakim zadanie zostało wykonane.

Ostatnim przykładem jest symulator spawania Weldtrainer (Rys. 3). Stanowisko Weldtrainer, znajdujące się na Wydziale Mechaniczno-Technologicznym Politechniki Rzeszowskiej, umożliwia naukę spawania na wirtualnym symulatorze. Weldtrainer daje możliwość nauki spawania metodami SMAW (ang. *shielded metal arc welding*) czyli spawanie elektrodą otuloną, GMAW (ang. *gas metal arc welding*), spawanie MIG/MAG, GTAW (ang. *gas tungsten arc welding*) spawanie TIG, a także FCAW-G i FCAW-S. Stanowisko przygotowano do nauki spawania osób w bezpieczny i przyjazny sposób dla środowiska [10].

Stanowisko jest wyposażone w okulary stereoskopowe umieszczone w masce spawalniczej oraz system audio z regulacją głośności. Obraz widziany przez operatora jest równocześnie wyświetlany na monitorze, w który wyposażona jest stacja. Urządzenie daje możliwość importu wybranej próbki do wirtualnego środowiska spawalniczego. Umożliwia to przeprowadzenie niestandardowych ćwiczeń i optymalizację procesu spawania pod względem szybkości czy odkształceń materiału. Uchwyty spawalnicze są wyposażone w system sygnalizujący błędy za pomocą różnych sekwencji drgań narzędzia [10, 11].

Na podstawie analizy istniejących rozwiązań zdecydowano się zaprojektować model stacji spawalniczej w środowisku RobotStudio oraz oprogramowanie kontrolera robota z zastosowaniem elementów wirtualnej rzeczywistości.



Rys. 2. Trening operatora z wykorzystaniem Aircraft Deicing Operator
Fig. 2. Operator training with the use of Aircraft Deicing Operator

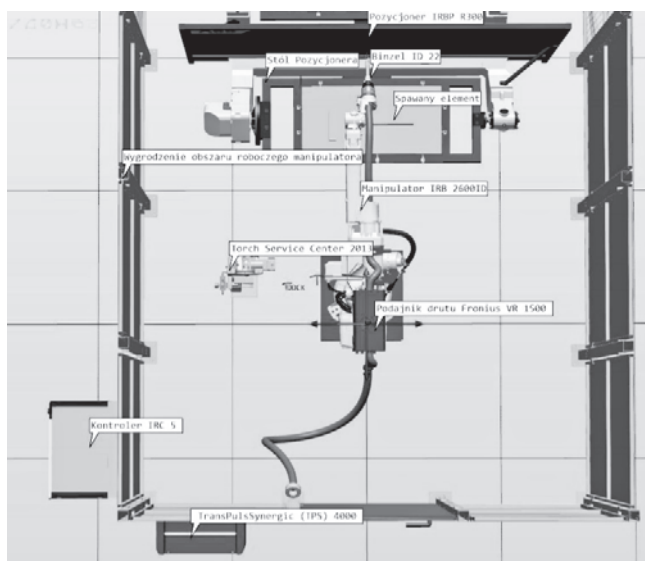


Rys. 3. Symulator spawania WMT PRz w Stalowej Woli [10]
Fig. 3. WMT PRz welding simulator in Stalowa Wola [10]

3. Projekt zrobotyzowanej stacji spawalniczej

W ramach artykułu opracowano projekt zrobotyzowanej stacji spawalniczej (Rys. 4). Jednym z elementów stanowiska jest dedykowany do aplikacji spawalniczych manipulator ABB IRB 2600ID. Stanowisko zostało wyposażone w pozycjoner AB IRBP R300, kontroler IRC 5, uchwyt oraz podajnik drutu spawalniczego Fronius VR 1500, źródło prądu spawalniczego TransPulsSynergic (TPS) 4000, torch Service Center 2013, elementy bezpieczeństwa.

Z bibliotek środowiska RobotStudio pobrano model manipulatora ABB IRB 2600ID, pozycjonera IRBP R300, kontrolera IRC 5, TransPulsSynergic (TPS) 4000. Pozostałe podzespoły stanowiska pobrano ze stron producentów lub zaprojektowano w środowisku CAD. Dobór elementów stacji zrobotyzowanej oraz ich charakterystykę zaprezentowano poniżej.



Rys. 4. Projekt zrobotyzowanej stacji spawalniczej w środowisku RobotStudio

Fig. 4. Project of a robotic welding station in the RobotStudio environment

Manipulator IRB 2600ID

Manipulator IRB 2600ID-8/2,00 (Rys. 5) został wybrany do realizacji projektu, ponieważ jest dedykowany dla procesów spawalniczych. Według specyfikacji technicznej jego maksymalny udźwig to 8 kg, natomiast maksymalny zasięg 2 m [12]. Robot wyposażony jest we wbudowane funkcje bezpieczeństwa, rozbudowany interfejs umożliwiający komunikację z innymi urządzeniami peryferyjnymi oraz maszynami. Oznaczenie robota ID (ang. *Integrated Dressing*) informuje o integracji okablowania wewnątrz jego ramienia, niwelując zwisające przewody spawalnicze i zwiększając bezawaryjny czas pracy [13].

Pozycjoner IRBP R300

IRBP R300 jest pozycjonerem z serii dwupozycyjnych obrotowych (Rys. 6). Manipulator wykonuje swoje zadanie po jednej stronie pozycjonera, operator ładuje oraz rozładowuje półfabrykaty po jego drugiej stronie. Ekran ochronny oddziela robota od operatora [14].

Przedstawiony pozycjoner umożliwia współpracę z każdym sześciopozycyjnym manipulatorem firmy ABB z wyłączeniem ABB IRB 120. Do budowy stanowiska zastosowano pozycjoner IRBP R300 D1000 L1600, którego masa osprzętu dochodzi do 300 kg. Maksymalne obciążenie pozycjonera podzielone jest po 200 kg na każdą jego stronę, powtarzalność wynosi $\pm 0,05$. Maksymalny ciągły moment obrotowy pozycjonera wynosi 350 Nm [14].



Rys. 5. Manipulator ABB IRB 2600ID

Fig. 5. ABB IRB 2600ID manipulator



Rys. 6. Pozycjoner IRBP R300 [14]

Fig. 6. IRBP R300 positioner [14]

Podajnik drutu spawalniczego Fronius VR 1500

Podajnik drutu VR 1500 (Rys. 7) zaprojektowano do montażu na ramieniu robota, który można zastosować w połączeniu ze źródłami prądu TS 4000/5000, TPS 3200/4000/5000. Masa zestawu bez dodatkowego oprzyrządowania wynosi 10 kg, znajduje on także zastosowanie jako podajnik w aplikacjach wykorzystujących drut rdzeniowy [15].



Rys. 7. Podajnik drutu Fronius VR 1500 [15]

Fig. 7. Fronius VR 1500 wire feeder [15]

Podajnik przeznaczony jest do drutów o średnicy 0,80–3,2 mm, umożliwia podawanie materiału spoiwa z prędkością 0,5–12 m/min. Urządzenie umożliwia stosowanie wszystkich gazów osłonowych z maksymalnym ciśnieniem 7 barów. Rozwijane podajniki drutu są używane głównie do dużych szpul i bębnow z drutem spawalniczym, które znajdują się poza systemem spawalniczym. Częstym rozwiązaniem jest użycie podajnika drutu oraz podajnika rozwijającego, jednak wymaga to synchronizacji ruchów obu podajników [15].



Rys. 8. Podajnik drutu Fronius VR 1500 zamodelowany w programie AutoDesk Inventor

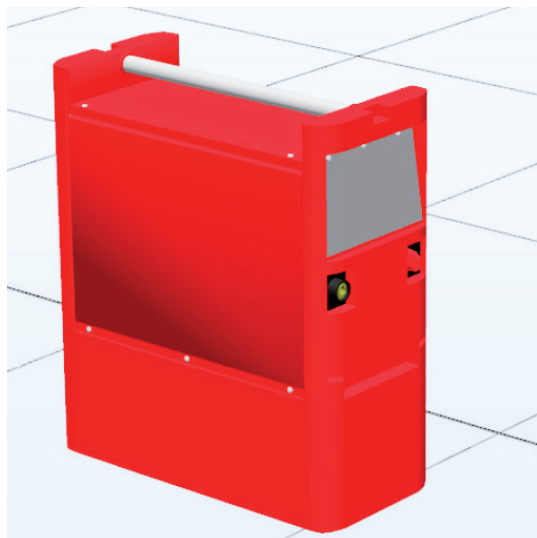
Fig. 8. Fronius VR 1500 wire feeder modeled in AutoDesk Inventor

Na Rys. 8 zaprezentowano model CAD podajnika drutu Fronius VR 1500, który zamodelowano w środowisku Inventor.

Źródła prądu spawalniczego TransPulsSynergic (TPS) 4000

Urządzenia tej serii umożliwiają obsługę metod spawania MIG/MAG, TIG oraz z zastosowaniem elektrody topliwej. Profesjonalna obróbka różnych materiałów wymaga doboru odpowiedniego oprogramowania dla zastosowanego materiału. Wymagania techniczne wersji specjalnych nie różnią się od standardowych źródeł spawalniczych. Umożliwia to bezpośredni dostęp do odpowiedniego oprogramowania z poziomu panelu operatora [16].

Źródło prądu spawalniczego TPS 4000 (Rys. 9) znajduje zastosowanie w obszarach przemysłu samochodowego, przemysłu maszynowego oraz produkcji pojazdów szynowych [16].

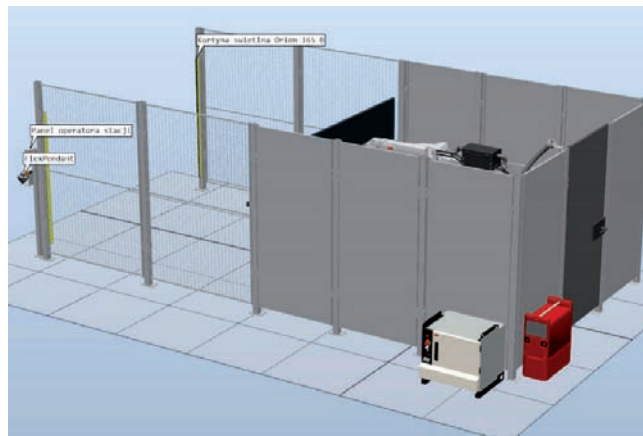


Rys. 9. Źródło prądu TransPulsSynergic (TPS) 4000

Fig. 9. TransPulsSynergic (TPS) 4000 power source

Element bezpieczeństwa w aplikacjach zrobotyzowanych

Zadaniem barier ochronnych jest uniemożliwienie dostępu do manipulatora i obszaru zagrożenia wynikającego z zakresu ruchu manipulatora przemysłowego. Do budowy wygradzenia ochronnego zastosowano produkty firmy AXELENT. Wygradzenie składa się z paneli znajdującymi się w strefie pracy operatora obsługującego stację. Pełne blaszane panele o wysokości 2,20 m (Rys. 10) chronią czynnik ludzki przed procesami występującymi podczas pracy robota, tj. odpryski, promieniowanie świetlne.



Rys. 10. Model wygradzenia stacji zbudowany w programie RobotStudio

Fig. 10. Model of the station fencing built in RobotStudio

Obecność człowieka w środowisku, w którym pracują manipulatory wymusza odpowiednie podejście do bezpieczeństwa. Jednym ze środków, dzięki którym można zapewnić operatorowi bezpieczeństwo, są kurtyny świetlne. W projekcie została wykorzystana kurtyna świetlna marki Orion (Rys. 10), której zadaniem jest wykrycie obecności człowieka w niebezpiecznej strefie oraz blokada ruchów manipulatora.

Kontroler IRC 5

Kontroler IRC 5 (Rys. 11) jest systemem piątej generacji przeznaczonym do sterowania robotów, który dzięki swojej modułowości stanowi standard w tej klasie urządzeń. Ergonomiczny przenośny panel programowania FlexPendant jest przystosowany do ciężkich warunków pracy. Kontroler umożliwia synchroniczne sterowanie maksymalnie czterema mani-



Rys. 11. Kontroler IRC5 [17]

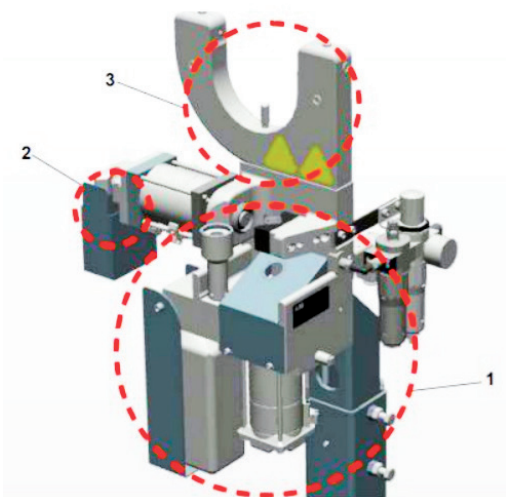
Fig. 11. IRC5 controller [17]

pulatorami, dzięki wykorzystaniu funkcji MultiMove. Zawiera on elektronikę niezbędną do sterowania manipulatorem oraz urządzeniami peryferyjnymi. Kontroler ma budowę modułową, można go podzielić na dwa moduły: moduł napędowy zawierający układ napędowy oraz moduł sterujący zawierający układ sterowania. Zastosowana modułowość umożliwia odpowiednie rozmieszczenie modułów podczas modernizacji stacji oraz wymianę jednego z uszkodzonych modułów [17].

Kontroler jest zasilany napięciem trójfazowym 200–600 V z częstotliwością 50–60 Hz, jego wymiary to 970 mm × 725 mm × 710 mm, a masa 150 kg [17].

Torch Service Center 2013

Najbardziej podatnym na uszkodzenia elementem stanowiska jest narzędzie spawalnicze. Znajduje się ono w strefie podwyższonej temperatury, narażone jest na odpryski spawalnicze oraz kolizje z elementami stanowiska. Narzędzia spawalnicze są odpowiednio zaprojektowane do pracy w trudnych warunkach. Niezbędne jest ich regularne czyszczenie oraz kontrola stanu technicznego dla uzyskania odpowiedniej dokładności i jakości spoin. TSC (Torch Service Center 2013) (Rys. 12) składa się z trzech jednostek: układu czyszczenia palnika **1** (czyszczenie końcówki prądowej i wnętrza dyszy gazowej), układu obcinania drutu (wire cutter) **2** (maksymalna średnica drutu stalowego 1,6 mm) oraz systemu pomiaru i kontroli punktu pracy narzędzia **3** (TCP gauging) [18].

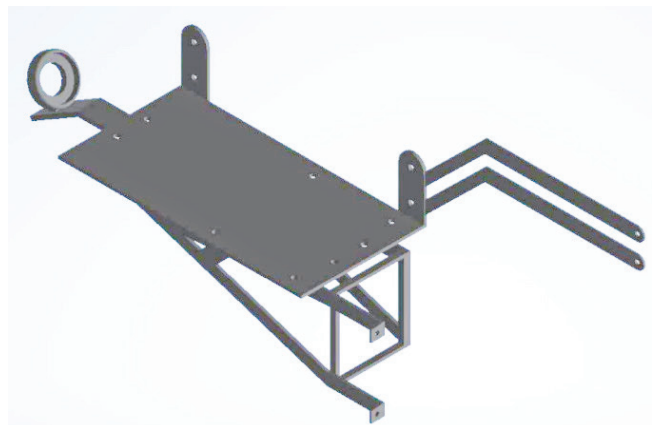


Rys. 12. Torch Service Center 2013 [18]
Fig. 12. Torch Service Center 2013 [18]

W przypadku czyszczenia palnika to system sterowania robota nadzoruje pracę układu. Proces czyszczenia zostanie rozpoczęty, gdy palnik będzie w odpowiedniej pozycji. Proces czyszczenia dyszy składa się z kilku sekwencji: czyszczenia mechanicznego, czyszczenia pneumatycznego oraz smarowania środkiem antyadhezyjnym wnętrza dyszy gazowej. Punkt środkowy narzędzia TCP (ang. *Tool Center Point*), którym w przypadku procesu spawania jest końcówka drutu wychodzącego z narzędzia spawalniczego, powinien być prawidłowo skalibrowany. Źle zdefiniowany punkt spowodowany kolizją czy wymianą podzespołów narzędzia spawalniczego skutkuje niedokładną pracą manipulatora [18].

Model uchwytu podajnika drutu Fronius VR 1500

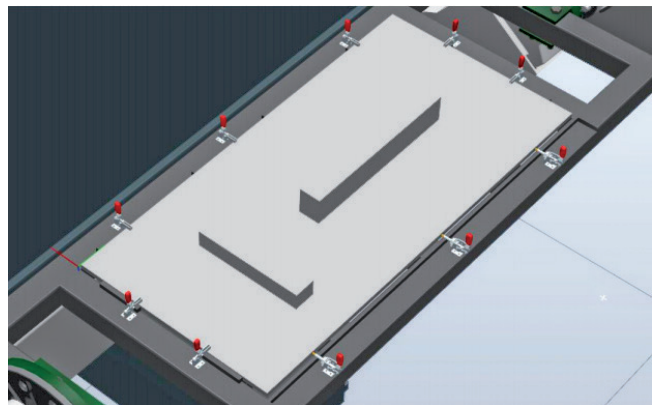
W ramach budowy stanowiska zaprojektowano podajnik drutu (Rys. 13), który jest kompatybilny z manipulatorem przemysłowym IRB 2600ID. Model podajnika zaprojektowano na podstawie dokumentacji technicznej znajdującej się na stronie producenta. Uchwyt zamodelowano w oprogramowaniu Autodesk Inventor. W celu odwzorowania istniejących w korpusie otworów montażowych wyeksportowano modele ze środowiska RobotStudio.



Rys. 13. Uchwyt zaprojektowany pod podajnik drutu Fronius VR 1500
Fig. 13. Holder designed for the Fronius VR 1500 wire feeder

Przyrząd mocujący spawany element

W celu umieszczenia spawanych elementów na pozycjonerze został zaprojektowany przyrząd mocujący. Umożliwia on odpowiednie rozmieszczenie półfabrykatów na pozycjonerze oraz manipulację nimi. Udostępniony przez producenta model pozycjonera w odpowiednim formacie umożliwił zaprojektowanie przyrządu o odpowiednich wymiarach, które nie doprowadzą do kolizji z samym pozycjonerem jak i elementami znajdującymi się w stacji.



Rys. 14. Przyrząd mocujący zamodelowany w programie Autodesk Inventor
Fig. 14. Clamping fixture modeled in Autodesk Inventor

Przyrząd mocujący (Rys. 14) został zaprojektowany w celu montażu spawanej konstrukcji. Ma ograniczniki, do których dosuwany jest element. Dodatkowo przyrząd zabezpiecza się przez uchwyty spawalnicze. Kluczowe w projektowaniu przyrządu mocującego było odpowiednie ograniczenie liczby stopni swobody przez uchwyty. Zastosowanie zbyt dużej liczby ograniczników może doprowadzić do blokady konstrukcji spowodowanej skurczem spawalniczym.

4. Projekt oprogramowania stacji w środowisku RobotStudio z wykorzystaniem VR

Środowisko RobotStudio oferuje szeroką gamę narzędzi obsługujących współpracę z wirtualną rzeczywistością, m.in. VrHandController oraz VrTeleporter. Zaprezentowane narzędzia umożliwiają przekształcanie sygnałów kontrolera ręcznego na sygnały obsługiwane przez logikę stacji oraz przeniesienie operatora w odpowiednią pozycję, która ma kluczowe znaczenie dla symulowanej stacji [19].

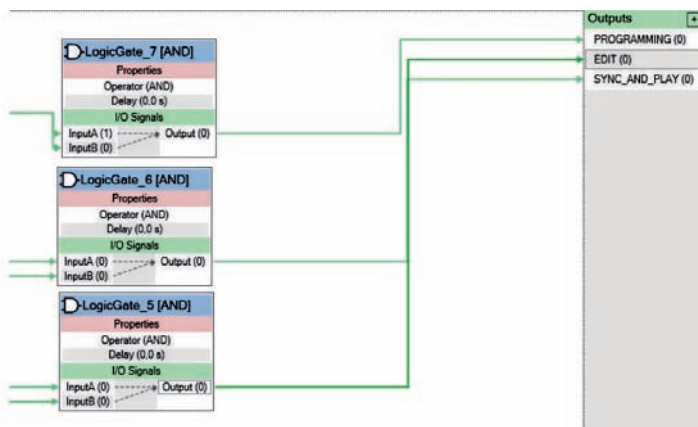
4.1. Station Logic

Środowisko RobotStudio 2020 umożliwia wykonanie zaawansowanej symulacji, która szczegółowo odwzorowuje rzeczywistość za pośrednictwem Station Logic. Blok ten daje możliwość wymiany informacji z kontrolerem manipulatora.

Blok Station Logic ma cztery główne zakładki pomagające w konstruowaniu logiki stacji: *Design*, *Compose*, *Properties and Bindings* i *Signals and Connections*. Zakładka *Design* przedstawia strukturę połączeń komponentów wchodzących w skład zaprojektowanej symulacji. Zakładka *Compose* umożliwia dodawanie elementów tworzących zespoły. Główna struktura programu składa się z dwóch modułów: VrHandController oraz VrHandController_2, które odpowiadają za prawy i lewy kontroler zestawu Oculus Rift S. Przekształcają one sygnały kontrolera ręcznego na sygnały obsługiwane przez logikę stacji. W skład struktury wchodzi również cztery moduły Smart Component, czyli EDIT, PROGRAMMING, SYNC AND PLAY oraz Selection. Elementy Smart Component dają możliwość przejrzystego przedstawienia całości programu, a także wprowadzania ewentualnych zmian celem szybszej identyfikacji błędów występujących w schemacie działania.

4.2. Smart Component Selection

Zadaniem zakładki Smart Component Selection (Rys. 15) jest wybór jednego z trzech modułów znajdujących się w logice stacji i uniemożliwienie opuszczenia wybranego etapu symulacji bez odpowiedniego podania sygnałów ręcznego kontrolera zestawu VR. Wprowadzane sygnały przez ręczne kontrolery zestawu wirtualnej rzeczywistości są przetwarzane przez bramki AND LogicGate [AND] oraz LogicGate_2 [AND]. Sygnały wyjściowe bramki LogicGate [AND], są zliczane przez dwa liczniki Counter oraz Counter_2. Zliczone sygnały są przetwarzane przez komparatory Comparer, Comparer_2, Comparer_3, które sterują przerzutnikami typu SR. W układzie występuje dodatkowo Comparer_4 resetujący licznik Couter_2. Przerzutnik SR ustawiony w stan wysoki przez kolejne komparatory wyświetla znacznik obranego podprogramu oraz ukrywa znacznik wcześniejszego.



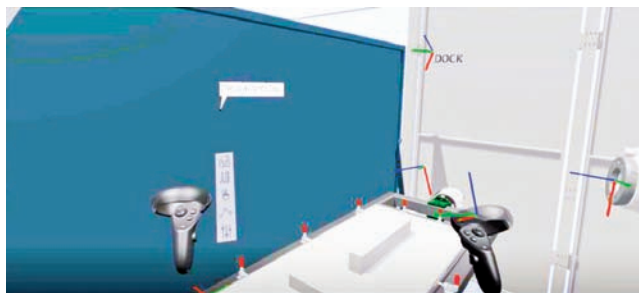
Rys. 15. Sygnały wyjściowe Smart Component Selection
Fig. 15. Smart Component Selection output signals

Przerzutniki jednocześnie sterują jednym z wejść bramek logicznych LogicGate_5, LogicGate_6, LogicGate_7, które zmieniają stany sygnałów wyjściowych Smart Component Selection i powodują uruchomienie odpowiedniego modułu. Drugie wejście wspomnianych bramek logicznych jest połączone z wyjściem przerzutnika SR, którego wejście Set jest sterowane prawym kontrolerem zestawu VR. Wybór odpowiedniego markera za pośrednictwem lewego kontrolera oraz jego zatwierdzenie prawym przyciskiem kontrolera umożliwi wysterowanie wyjść PROGRAMMING, EDIT i SYNC_AND_PLAY.

4.3. Smart Component modułu PROGRAMMING

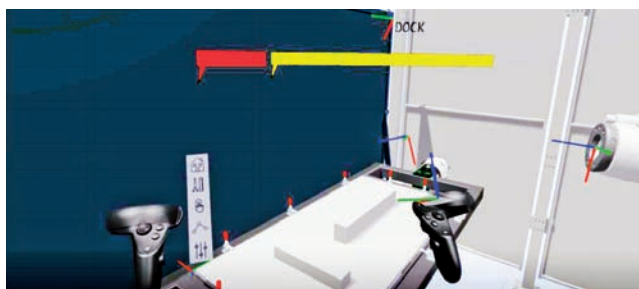
Jednym z trzech modułów występujących w projekcie zrobotyzowanej stacji jest moduł zamknięty w granicach Smart Componentu PROGRAMMING. Jest on najważniejszym z modułów występujących w projekcie. Jednocześnie ma rozbudowaną strukturę wykorzystującą w szerokim stopniu narzędzia udostępnione w bibliotekach zastosowanego środowiska.

Przed rozpoczęciem działania modułu PROGRAMMING, konieczny jest wybór odpowiedniego markera w module Selection (Rys. 16), a następnie zatwierdzenie przyciskiem prawego kontrolera. Naciśnięcie przycisku prawego kontrolera spowoduje wystąpienie logicznej jedynki na wyjściu PROGRAMMING Smart Component Selection, a tym samym na wejściu START Smart Component PROGRAMMING.



Rys. 16. Widok z perspektywy operatora stacji podczas wyboru żądanego modułu

Fig. 16. View from the station operator's perspective while selecting the desired module



Rys. 17. Widok z perspektywy operatora stacji po wyborze modułu PROGRAMMING

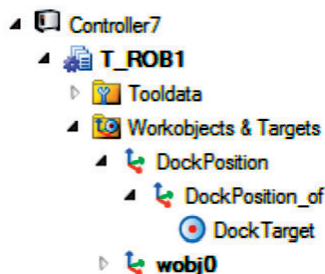
Fig. 17. View from the station operator's perspective after selecting the PROGRAMMING module

Jedynka logiczna na wejściu START aktywuje moduł PROGRAMMING i dezaktywuje moduł Selection. Jednocześnie wyświetla znacznik z informacją o aktywowaniu modułu wraz ze wskazówkami dla operatora (Rys. 17).

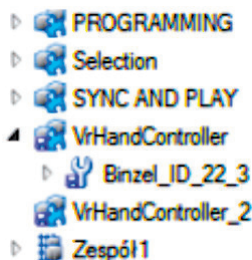
Kolejnym krokiem po uruchomieniu modułu jest użycie wbudowanego już w oprogramowanie RobotStudio 2020 interfejsu. Odpowiednio przygotowana stacja umożliwia synchronizację ruchów ręcznego kontrolera VR z ruchami manipulatora IRB 2600 ID.

Kolejnym działaniem, jakie należy podjąć, aby przystosować stację do wbudowanego interfejsu, jest przytwierdzenie zastosowanego narzędzia Binzel ID 22 do kłosa manipulatora. Następnie wykonanie oddzielnego Wobject DockPosition (Rys. 18) i umieszczenie go w tym narzędziu za pomocą funkcji Attach to. Kolejnym krokiem jest utworzenie punktu DockTarget, którego odniesieniem jest wcześniej utworzony Wobject. Następnie należy dezaktywować połączenie narzędzia z manipulatorem funkcją Detach z uwzględnieniem opcji w oknie Update Position (bez zmiany aktualnego położenia narzędzia).

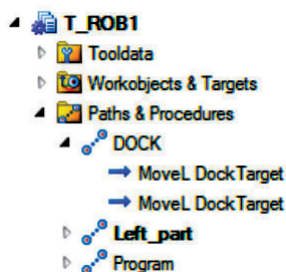
Następnym krokiem jest dodanie wcześniej zmodyfikowanego narzędzia Binzel_ID_22_3, do Smart Component VrHandController (Rys. 19), który odpowiada za działanie prawego ręcznego kontrolera zestawu wirtualnej rzeczywistości. Jednocześnie jest



Rys. 18. Fragment zakładki Path & Targets
Fig. 18. A fragment of the Path & Targets tab

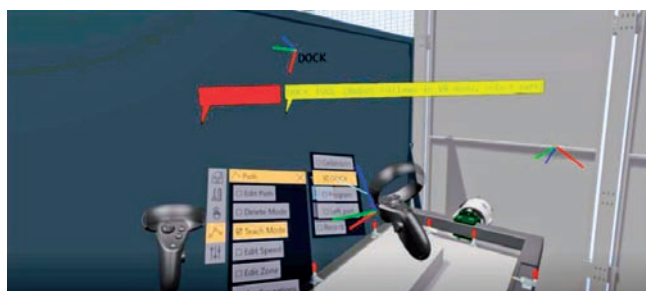


Rys. 19. Fragment zakładki Layout
Fig. 19. A fragment of the Layout tab



Rys. 20. Fragmentu zakładki Path & Targets
Fig. 20. A fragment of the Path & Targets tab

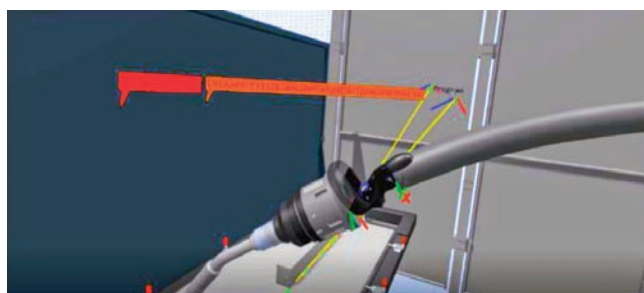
to jego reprezentacja 3D w zbudowanym środowisku. Bardzo ważne przed wykonaniem poprzedniego kroku było odpowiednie ustawienie narzędzia względem lokalnego układu współrzędnych. Umożliwiło to zestawienie pozycji narzędzia Binzel_ID_22_3 z przygotowanym za pomocą druku 3D odpowiednikiem narzędzia przytwierdzonym do kontrolera. Ostatnim zadaniem, jakie trzeba było wykonać, było utworzenie ścieżki DOCK oraz dwóch instrukcji ruchu MoveL DockTarget. Wszystkie wykonane kroki umożliwiły podążanie manipulatora za pozycją prawego ręcznego kontrolera, w której operator stacji trzyma model narzędzia spawalniczego. Pierwszym zadaniem po uruchomieniu modułu PROGRAMMING, jest wejście w menu interfejsu VR, które jest umieszczone przy lewym kontrolerze do zakładki Path. Następnie wybranie opcji Teach Mode i wybór ścieżki DOCK (Rys. 21). Po wyborze obowiązującej ścieżki programu,



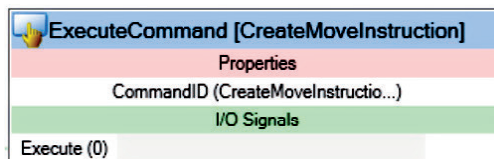
Rys. 21. Użycie interfejsu VR do wybrania aktualnie wykorzystywanej ścieżki
Fig. 21. Using the VR interface to select the currently used path

wybrano opcje Edit Path, a następnie Robot Follows. Umożliwiła ona wykonywanie instrukcji umieszczonych w ścieżce DOCK (Rys. 20), czyli ruch manipulatora do punktu DockTarget po naciśnięciu przycisku lewego kontrolera.

Po ustawieniu manipulatora w punkcie DockTarget zachodzi konieczność zmiany aktualnie używanej ścieżki na Program i wyłączenie interfejsu VR. Wyłączenie interfejsu jest istotne, ponieważ jego aktywność uniemożliwia poprawne wykonanie kolejnych etapów modułu. Po naciśnięciu przycisku prawego kontrolera jego sygnał jest zliczany przez licznik, a jego wartość porównana przez komparator. Spełnienie warunku spowoduje pojawienie się narzędzia Binzel_ID_22_3 oraz zniknięcie modelu manipulatora IRB 2600 ID. Ze względu na to, że prawy kontroler wykrywa najbliższe położone modele. Był to niezbędny warunek, aby manipulator w późniejszym etapie podążał za narzędziem. Wskazanie modelu narzędzia, jest sygnalizowane przez podświetlenie modelu na kolor niebieski (Rys. 24). Dodatkowo w tym kroku pojawia się znacznik „PREPARE (click another right trigger and hold it)”, informując operatora o dalszym kroku jaki trzeba podjąć po pojawieniu się narzędzia (Rys. 22).



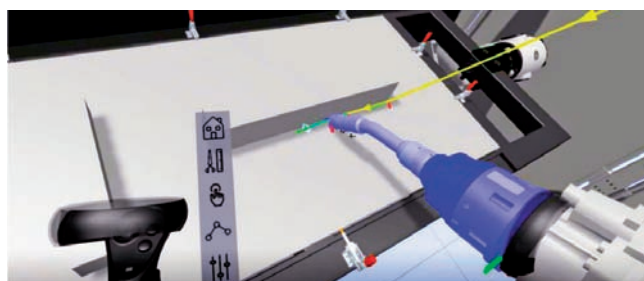
Rys. 22. Pojawienie się narzędzia w punkcie DockTarget
Fig. 22 Appearance of the tool at the DockTarget point



Rys. 23. Zastosowany Smart Component
Fig. 23. Smart Component used

Po zastosowaniu się do instrukcji, czyli kolejnym wciśnięciu przycisku i przytrzymaniu go poprzedni znacznik znika i pojawia się kolejny „CREAT PATH (use right trigger to exit, AutoConfiguration)”. Zapowiada on możliwość budowania ścieżki przez operatora, a jest to możliwe dzięki wykorzystaniu w strukturze modułu dwóch Smart Component. ExecuteCommand (Rys. 23) odpowiada za tworzenie punktów przez wywołanie funkcji CreatTarget oraz funkcji CreatMoveInstruction (Rys. 24) odpowiedzialnej za utworzenie instrukcji ruchu MoveL.

Warunkiem koniecznym, który umożliwia działanie struktury modułu, jest trzymanie w pozycji włączonej przycisku prawego



Rys. 24. Tworzenie instrukcji ruchu ścieżki Program
Fig. 24. Create a path motion instruction Program

kontrolera, gdzie kolejne punkty ścieżki są budowane przez użycie przycisku lewego kontrolera wraz z instrukcjami ruchu (Rys. 24). Zwolnienie przycisku prawego kontrolera spowoduje wyłączenie synchronizacji ruchu manipulatora z ręcznym kontrolerem, do którego przytwierdzony jest model narzędzia spawalniczego. Aby opuścić moduł programowania i włączyć moduł Selection, pozwalający na wybór pozostałych modułów, należy puścić przytrzymany przycisk prawego kontrolera oraz nacisnąć go jeszcze raz.

Ostatnie użycie prawego kontrolera spowoduje również wywołanie funkcji Smart Component ExecuteCommand (Rys. 23). Funkcja ta odpowiada za konfigurację instrukcji ruchu przez wywołanie funkcji AutoConfiguraationAll za pośrednictwem Smart Component ExecuteCommand.

4.4. Smart Component modułu EDIT

Zadaniem tego Smart Component jest edycja uzyskanej ścieżki przez operatora. Do tego zdania wykorzystany został moduł wbudowany już w oprogramowanie interfejsu wirtualnej rzeczywistości. Struktura modułu składa się z bramek logicznych, liczników, komparatorów oraz przerzutników SR i Smart Component. Obsługują one pojawianie się znaczników z informacjami pomagającymi w obsłudze modułu.

W celu uruchomienia modułu EDIT, należy wybrać w module Selection odpowiedni znacznik z oznaczeniem modułu i wcisnąć przycisk prawego kontrolera. Umożliwia to uruchomienie modułu oprogramowania. Interfejs wirtualnej rzeczywistości ma pięć głównych zakładek umieszczonych przy lewym ręcznym kontrolerze. Pierwsza zakładka o nazwie Home (Rys. 25) umożliwia zmiany położenia operatora z wykorzystaniem funkcji Up,

Down oraz Long teleport. Zakładka Home umożliwia uruchomienie symulacji.

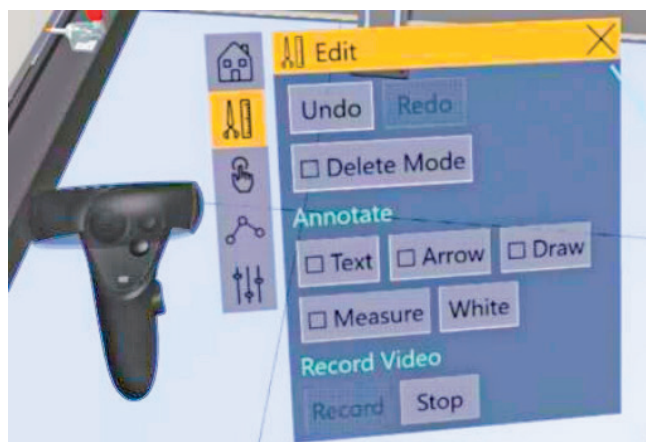
Kolejną zakładką jest polecenie Edit (Rys. 26) umożliwiające usuwanie utworzonych instrukcji ruchu, punktów oraz wykonywanie takich operacji na wcześniej utworzonych adnotacjach za pomocą opcji Delete Mode. Zakładka umożliwia utworzenie znacznika (opcja Text) oraz wskaźnika w postaci strzałki (opcja Arrow). Opcja Draw służy do rysowania w przestrzeni za pomocą prawego kontrolera, jest aktywowana przez wciśnięcie przycisku kontrolera. Measure umożliwia wykonanie pomiaru odległości między interesującymi elementami stacji. Natomiast opcja Record daje możliwość nagrania materiału wideo z perspektywy operatora. Trzecia zakładka o nazwie Manipulate pozwala na zmiany położenia komponentów stacji po uruchomieniu opcji Grab Objects.

Zaprezentowane polecenia umożliwiają odbieranie obiektom stopni swobody w trzech osiach X, Y oraz Z, a także obrotów względem tych osi. W zakładkach jest także opcja wyboru układu odniesienia, względem którego dany stopień swobody zostanie odebrany. Kolejna zakładka o nazwie Path (Rys. 27) jest najbardziej rozbudowana i ma najwięcej opcji. Opcja Edit Path umożliwia poruszanie się manipulatora po punktach zdefiniowanych w ścieżce przez wybór opcji Robot Follows. Delete Mode daje możliwość usuwania poszczególnych instrukcji ruchu i punktów.

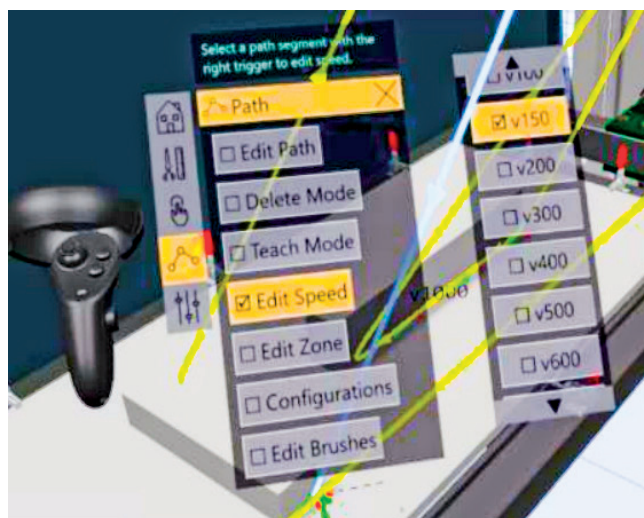
Trzecia opcja o nazwie Teach mode umożliwia wybór istniejącej ścieżki, w której będą umieszczane instrukcje ruchu oraz udostępnia opcję Teach. Jej zastosowanie buduje pojedynczy punkt. Opcja Record umożliwia automatyczne tworzenie instrukcji oraz punktów poprzez uchwycenie za pomocą prawego kontrolera narzędzia manipulatora. Po podświetleniu narzędzia na kolor niebieski oraz wciśnięciu przycisku kontrolera następuje synchronizacja ruchu kontrolera z podświetlonym detałem. Punkty są tworzone w nierównych odstępach niezależnie od czasu czy położenia narzędzia, co powoduje jej bezużyteczność. W opracowanym rozwiązaniu, dopiero utworzony moduł PROGRAMMING daje możliwość uzależnienia budowy punktów od operatora. Opcja Edit Speed po wskazaniu odpowiedniego segmentu ścieżki daje możliwość zmiany jego prędkości, a opcja Edit Zone zmianę stref dojazdu narzędzia do celu. W przypadku celów, które są nauczone poprzez przesunięcie robota po interesującej pozycji, informacje o konfiguracji zostają automatycznie zapisane. Cele utworzone przez określenie lub obliczenie pozycji i orientacji mają wartość domyślną (0,0,0,0). Nawet jeśli wszystkie cele w ścieżce są prawidłowo skonfigurowane, to w przejściu między poszczególnymi celami może wystąpić błąd, gdy osł przesunie się o więcej niż 90° w czasie ruchu



Rys. 25. Zakładka Home
Fig. 25. Home tab

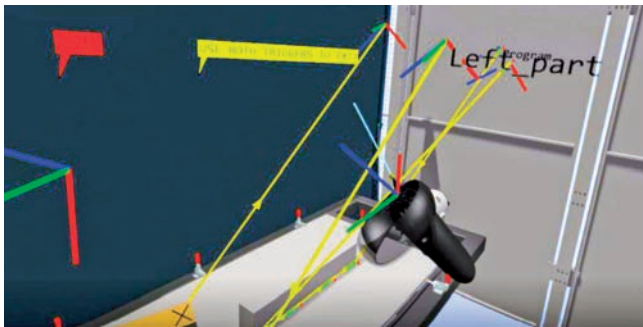


Rys. 26. Zakładka Edit
Fig. 26. Edit tab



Rys. 27. Zakładka Path
Fig. 27. Path tab

liniowego [22]. Opcja Configurations umożliwi zmianę konfiguracji kolejnych celów w ścieżce. Ostatnią opcją w zakładce Path jest Edit Brushes, którą wykorzystuje się w aplikacjach malarskich. Ostatnią zakładką jest polecenie Settings, która po zaznaczeniu opcji Show Tips wyświetla wskazówki dotyczące funkcji, jakie pełni poszczególne zakładki i opcje interfejsu. Natomiast opcja Show Tutorial uruchamia krótki tutorial dotyczący funkcji, jakie pełni interfejs. Po dokonaniu wszelkich zmian moduł umożliwia nam jego opuszczenie przez wykonanie instrukcji, które są wyświetlane w postaci znaczników po uruchomieniu modułu. Dodatkowo pojawia się znacznik na żółtym tle z napisem „USE BOTH TRIGGERS TO EXIT” (Rys. 28).



Rys. 28. Widok z perspektywy operatora wskaźników sygnalizujących uruchomienie
Fig. 28. Start-up indicators from the operator's perspective

Po wciśnięciu obu przycisków wyświetli się nowy znacznik z zielonym tłem z napisem: „EXIT MODE (click 3 times right trigger)” (Rys. 29). Zastosowanie się do wskazówki umieszczonej w znaczniku sygnalizuje opuszczenie modułu EDIT oraz przejście użytkownika do modułu Selection.

4.5. Smart Component SYNC AND PLAY

Oprogramowanie RobotStudio umożliwia synchronizację obustronną ze stacji w RobotStudio do wirtualnego kontrolera oraz z wirtualnego kontrolera do stanowiska w RobotStudio. W tym przypadku wszystkie pozycje i ruchy manipulatora są definiowane przez operatora w module PROGRAMMING,



Rys. 29. Widok z perspektywy operatora wskaźników umożliwiającej opuszczenie modułu
Fig. 29. View from the perspective of the operator of the indicators enabling the exit of the module

a następnie zostają przetworzone na deklaracje danych i instrukcje w języku RAPID. Zadaniem modułu SYNC AND PLAY jest synchronizacja ścieżek i instrukcji ruchu utworzonych w stacji na instrukcje w języku RAPID oraz umieszczenie ich w module RAPID środowiska RobotStudio. Następnie uruchomienie symulacji działania utworzonego programu. Po wyborze znacznika Smart Component w module Selection i zatwierdzeniu jego wyboru prawym kontrolerem, pojawia się znacznik z nazwą modułu z czerwonym tłem sygnalizujący jego uruchomienie.

Automatycznie po uruchomieniu modułu został aktywowany Smart Component ExecuteCommand i wykonana komenda SimulationSyncAndPlay wyświetla znacznik świadczący o aktywacji modułu oraz instrukcje pomagające w jego obsłudze. Aby umożliwić wykonanie symulacji w programie głównym main (Rys. 30), umieszczone zostały instrukcje, które wywołują podprogramy Program oraz Left_part.

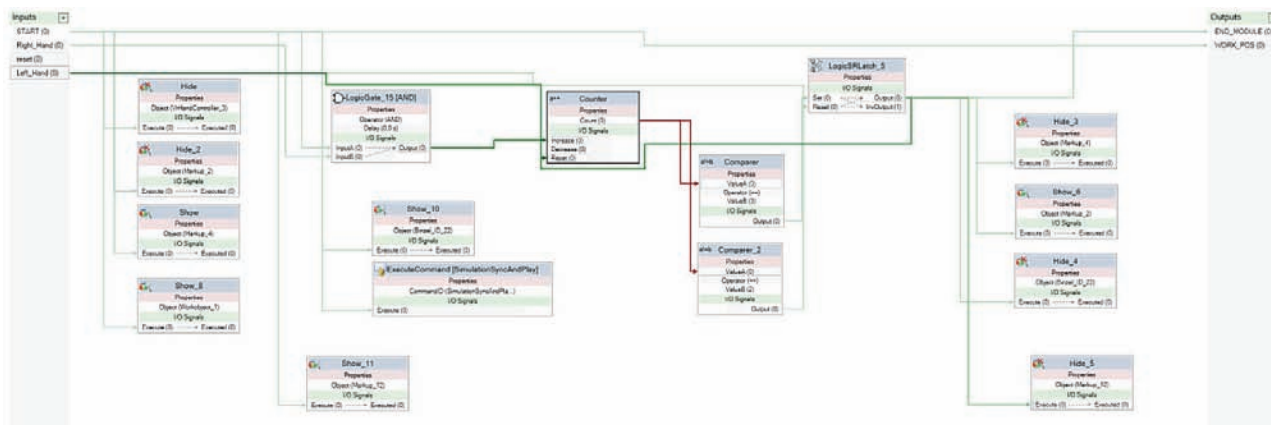
Moduł SYNC AND PLAY (Rys. 31) składa się z Smart Component powodującego synchronizację i uruchomienie symulacji. Dodatkowo w strukturę modułu wchodzi bramka AND, której zadaniem jest umożliwienie przejścia sygnałów kontrolera do modułu tylko wtedy, kiedy moduł będzie uruchomiony (sygnał wejściowy START modułu ma wartość 1). Moduł składa się z komponentów Show i Hide, a także liczników, komparatorów oraz przerzutników SR.

```

PROC main()
  Program;
  WaitTime 2;
  Left_part;
ENDPROC
PROC DOCK()
  MoveL [[49.841566281,0,372.194826206],[0.981627184,0,0.190808995,0],[-1,1,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]],v1000,z100,tWeldGun\Wobj:=DockPosition;
  MoveL [[49.841566281,0,372.194826206],[0.981627184,0,0.190808995,0],[-1,1,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]],v1000,z100,tWeldGun\Wobj:=DockPosition;
ENDPROC
PROC Program()
  MoveL Target_840,v1000,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_850,v400,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_860,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_870,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_880,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_890,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_900,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_910,v400,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
ENDPROC
PROC Left_part()
  MoveL Target_920,v1000,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_930,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_940,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_950,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_960,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_970,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_980,v150,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_990,v1000,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
  MoveL Target_1000,v400,z1,Tooldata_1\Wobj:=wobj0;
ENDPROC
ENDMODULE

```

Rys. 30. Część struktura programu w języku Rapid
Fig. 30. Part of the program structure in Rapid



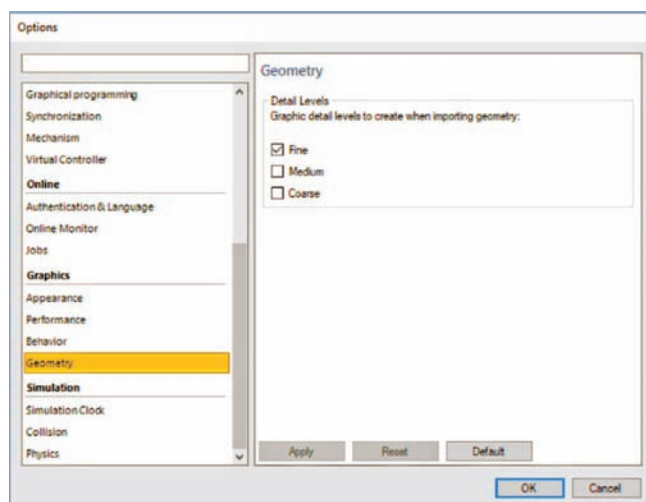
Rys. 31. Schemat modułu SYNC AND PLAY
Fig. 31. Diagram of the SYNC AND PLAY module

5. Symulacje i testy

Symulacja działania stacji umożliwiła sprawdzenie poprawności pracy zaimplementowanych modułów i korektę ewentualnych błędów. Testy utworzonych smart component były przeprowadzane od samego początku procesu projektowania oprogramowania stacji celem uniknięcia narastania błędów. Symulacje przeprowadzano ponownie po każdej zmianie struktury modułów. Systematyczna eliminacja błędów w fazie projektowania oraz zastosowanie ciągłych i powtarzalnych testów daje możliwość szybkiego i efektywnego rozwiązania, które jednocześnie nie jest obciążone błędem. Takie podejście, czyli prowadzenie symulacji przy jednoczesnym tworzeniu oprogramowania daje wymierne korzyści, które w tworzonych rozwiązaniach są kluczowe do uzyskania najlepszych efektów.

Projekt zakłada wykonanie rzeczywistego modelu narzędzia spawalniczego Binzel ID 22. Model rzeczywisty narzędzia został wykonany metodą druku 3D, która w wierny sposób odwzorowuje model narzędzia umieszczony w bibliotece środowiska RobotStudio. Ważną procedurą, której użycie jest kluczowe przed importowaniem pliku z środowiska, jest zmiana opcji graficznych, dzięki którym możliwe było uzyskanie lepszego poziomu szczegółowości detalu przed jego zapisaniem w formacie STL (Rys. 32).

Model narzędzia został wykonany metodą osadzania topionego materiału FDM (ang. *fused deposition modelling*) na drukarce HypeRoll o polu roboczym 300 mm × 300 mm × 250 mm z użyciem filamentu PLA. Pole robocze drukarki nie było wystar-



Rys. 32. Okno domyślnych ustawień widoku
Fig. 32. Default view settings window



Rys. 33. Połączenie modelu narzędzia z ręcznym kontrolerem zestawu VR

Fig. 33. Combination of the tool model with the handheld controller of the VR headset

czające dlatego model narzędzia został podzielony i wykonany w dwóch częściach, a następnie sklejony. Kolejnym korkiem było przymocowanie narzędzia do prawego ręcznego kontrolera wykorzystanego do symulacji zestawu Oculus Rift S. Przymocowanie do ręcznego kontrolera osiągnięto za pomocą rzepów oraz kołków na spodzie narzędzia, do którego będzie przylegał kontroler (Rys. 33). Zadaniem kołków jest jednoznaczne zdefiniowanie pozycji kontrolera w stosunku do narzędzia.

Kolejny etapem było wykonanie modelu rzeczywistego, będącego odwzorowaniem obecnej w środowisku konstrukcji spawanej w jak najlepszej możliwej dokładności. Po odwzorowaniu konstrukcji należało ją odpowiednio spozycjonować w rzeczywistości. Występują różnice na osi między zamodelowaną stacją w RobotStudio a uruchomioną symulacją z zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości. Aby skompensować ten błąd, należało manipulować wysokością rzeczywistego modelu konstrukcji spawanej, gdzie jej odpowiednia wysokość jest kontrolowana za pomocą końcówki już skonfigurowanego narzędzia. Po przystawieniu narzędzia w kilku miejscach do konstrukcji oraz braku wykrycia kolizji narzędzia ze spawaną konstrukcją wykazano gotowość użycia stacji.

Działanie programu rozpoczyna się od uruchomienia modułu Selection. Jego symulacja polegała na sprawdzeniu struktury, w której skład wchodzi liczniki, komparatory, bramki logiczne oraz Smart Component umożliwiające wybór odpowiednich modułów. Symulacje umożliwiły pokonanie trudności związanych z wykonaniem odpowiedniego algorytmu, którymi w tym przypadku było dobranie połączeń między komponentami oraz zaznaczenie opcji „Allow cyclic Connections” umożliwiającej obsługę wielu sygnałów w tym samym czasie. Największą trudność w czasie testów sprawił moduł PROGRAMMING, ze względu na swoją rozbudowaną strukturę oraz współpracę z elementami stacji. Pierwszym zadaniem operatora po uruchomieniu symulacji jest dokowanie narzędzia, wymagało to



Rys. 34. Zdjęcie z testów oprogramowania

Fig. 34. Photo from software tests

jednoczesnego przygotowania odpowiedniego algorytmu oraz przystosowania modelu stacji. Aby uzyskać bliźniaczą pozycję narzędzia rzeczywistego z modelem w symulacji, należało utrzymać prawy kontroler w nieruchomej pozycji po pojawieniu się manipulatora w punkcie DockTarget, aż do momentu pojawienia się znacznika z zielonym tłem. Było to problematyczne, ponieważ z nieruchomym prawym kontrolerem trzeba było zmienić aktywną ścieżkę oraz zamknąć interfejs VR. Poruszenie kontrolerem mogło spowodować niedokładne położenia narzędzia w symulacji. Po wykonaniu wszystkich czynności zgodnie z wskazówkami wyświetlanymi operatorowi stacja była gotowa do budowy instrukcji ruchu (Rys. 34).

6. Podsumowanie i wnioski

W artykule omówiono projekt oraz wykonanie oprogramowania zrobotyzowanej stacji spawalniczej z wykorzystaniem technologii wirtualnej rzeczywistości. Zbudowano oprogramowanie, które umożliwiło uzyskanie ścieżek związanych z procesem spawania, które następnie przetworzono na instrukcje w języku RAPID. Zaprojektowano oraz wykonano narzędzie spawalnicze, które zostało wytworzone w technologii szybkiego prototypowania – druku 3D. Wybrana metoda osadzania topionego materiału FDM okazała się wystarczająca, wykonany model spełnił określone wymagania.

Projekt modelu stacji wykonano w środowisku do programowania robotów off-line – RobotStudio. Utworzono oprogramowanie dla zbudowanego modelu stacji. Zaimplementowano wirtualną rzeczywistość, proces ten wymagał symulacji testowych.

Podczas przeprowadzania symulacji z wykorzystaniem wbudowanej aplikacji do obsługi wirtualnej rzeczywistości w środowisku RobotStudio napotkano szereg problemów. Każdorazowe uruchomienie symulacji powoduje zmianę aktualnego poziomu podłoża w symulacji, w konsekwencji oznacza to ciągłą adaptację modelu rzeczywistego do zmiennych warunków; różnica w położeniu kątowym kontrolerów ręcznych oraz położenie pionowe kontrolera trzymanego w dłoni – co skutkowało przesunięciem modelu wyświetlanego operatorowi o pewien kąt względem położenia detalu w rzeczywistości.

Przeprowadzone symulacje wykazały celowość prowadzonych prac. Zbudowane stanowisko może zostać w przyszłości rozbudowane o dodatkowe komponenty oraz udoskonalone.

Bibliografia

- Burdea G. C., Coiffet P. *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons, 2003.
- Szybicki D., Pietruś P., *Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości w projektowaniu stacji zrobotyzowanych*. „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 24, Nr 2, 2020, 63–68, DOI: 10.14313/PAR_236/63
- Muszyńska M., Szybicki D., Gierlak P., Kurc K., Burghardt A., *The Use of VR to Analyze the Profitability of the Construction of a Robotized Station*. “Advances in Manufacturing Science and Technology”, 44(1), 2020, 32–37.
- Dymora P., Bolanowski, M., Mazurek, M., Kowal, B., Salach, M. (2019). Raport dotyczący uwarunkowań technicznych wdrażania technologii VR w dydaktyce na kierunkach Automatyka i robotyka oraz informatyka prowadzonych przez WEiI z potencjalnymi zastosowaniami dla Przemysłu 4.0. <https://rid.prz.edu.pl/raport-prz/raport-potencjalu>, 2019.
- Tilhou R., Taylor V., Crompton H., 3D *Virtual Reality in K-12 Education: A Thematic Systematic Review*. [In:] *Emerging Technologies and Pedagogies in the Curriculum* (169–184). Springer, Singapore, 2020.
- Scales J., *How VR Welding Simulators can Improve the Workforce & Position, Welding Operations for the future Success* <http://education.lincolnelectric.com/wp-content/uploads/2019/01/Lincoln-Electric-White-Paper-Virtual-Reality-Trainers-Industry-01-2019.pdf>
- Lincoln Electric Company, *VRTEX 360 OPERATOR'S MANUAL*. <https://www.lincolnelectric.com/assets/service-navigator-public/lincoln3/im10046.pdf>, 2017.
- ForgeFX Simulations. *Aircraft Deicing Operator Training Simulator*. <https://forgefx.com/simulation-projects/aircraft-ground-support/deicing-training-simulator/>
- Żmigrodzka M., *Techniki wirtualnej rzeczywistości w procesie edukacji*. „Marketing Instytucji Naukowych i Badawczych”, (4 (26)), 2017, 117–133.
- HIK-CONSULTING. *Symulator Spawania Nowej Generacji*. https://www.symulatory-szkoleniowe.eu/files/Weldtrainer_PL2_HIK.pdf
- Jagiłowicz M., *Symulator do spawania na Wydziale Mechaniczno-Technologicznym*. <https://www.prz.edu.pl/uczelnia/aktualnosci/symulator-do-spawania-na-wydziale-mechaniczno-technologicznym-1797.html>, 2020.
- ABB, *IRB2600ID Industrial robot*. https://library.e.abb.com/public/f198ac79e5b14ede279cba33b158be8/ROB0205EN_IRB2600ID_RevE.pdf, 2019.
- ABB, *Product manual IRB2600*. <https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/IRC5UserDocumentationRW6/en/3HAC035504%20PM%20IRB%202600-en.pdf>, 2018.
- ABB, *IRBP R Positioner*. https://library.e.abb.com/public/7ae06be0a83848508bbafae510dc827b/IRBP_R_PR10111EN_RevD.pdf, 2019.
- Fronius International GMBH. *Operating Instructions: Spare parts list, Wire-feed unit*. <https://www.fronius.com/~/downloads/Perfect%20Welding/Operating%20Instructions/42%2C0426%2C0006%2CEN.pdf>
- Fronius International GMBH. *Instrukcja Obsług: Źródło zasilania MIG/MAG*. <https://www.fronius.com/~downloads/Perfect%20Welding/Operating%20Instructions/42%2C0426%2C0001%2CPL.pdf>
- ABB, *IRC5 Industrial Robot Controller*. https://library.e.abb.com/public/d6f68ade0cb24d6aa0fe79220321d187/IRC5_ROB029_5EN-Rev.D.pdf, 2019.
- ABB, *Assembly instruction: Torch Service Center TSC 2013*. https://abb.sluzba.cz/Pages/Public/IRC5UserDocumentationRW6/en/3HDA000057A8519-001_Assembly%20Instructions_TSC2013_Rev03.pdf, 2018.
- ABB, *Operating manual: RobotStudio*. https://library.e.abb.com/public/244a8a5c10ef8875c1257b4b-0052193c/3HAC032104-001_revD_en.pdf, 2020.

Project and Software of a Robotic Welding Station Using Virtual Reality Technology

Abstract: The use of VR technology in various industries, including in the industry is constantly growing. ABB is one of the first companies to introduce programming using virtual reality to its offer. This system greatly facilitates the work of an engineer, allowing the user to interact with 3D models through virtual reality goggles. The article presents the design and software of a robotic station that enables the creation of movement instructions using virtual reality technology. The review of the existing industrial solutions using VR technology in welding simulators and other industries. A project of a welding station in the RobotStudio environment was presented and built. Software was written using virtual reality and a model of the real tool was made using the 3D printing method. The designed welding station was tested.

Keywords: virtual reality, robotic station, welding process, RobotStudio

dr inż. Magdalena Muszyńska

magdaw@prz.edu.pl

ORCID: 0000-0002-0113-6159

Ukończyła studia w zakresie mechatronika na Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza w 2005 r. W roku akademickim 2005/2006 podjęła studia doktoranckie na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. Od tego też roku jest pracownikiem Katedry Mechaniki Stosowanej i Robotyki, gdzie obecnie pracuje na stanowisku adiunkta. Stopień doktora nauk technicznych uzyskała w 2012 r. Jej zainteresowania naukowe dotyczą m.in. zagadnień sterowania robotami kołowymi z uwzględnieniem metod adaptacyjnych i inteligentnych. Jest współautorem publikacji krajowych i międzynarodowych.



dr inż. Dariusz Szybicki

dszybicki@prz.edu.pl

ORCID: 0000-0003-3648-9808

Urodził się w Przeworsku. Studia wyższe ukończył na Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza. W latach 2009–2013 był uczestnikiem studiów doktoranckich z zakresu Mechaniki na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. W 2014 r. obronił pracę doktorską w dyscyplinie Mechanika. Od 2014 r. jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki. Jego zainteresowania naukowe dotyczą szeroko pojętej mechatroniki. W ramach projektów badawczych zajmuje się projektowaniem stacji zrobotyzowanych oraz programowaniem robotów przemysłowych.



mgr inż. Paulina Pietruś

p.pietrus@prz.edu.pl

ORCID: 0000-0002-6428-0959

Urodziła się w Rzeszowie. Studia wyższe ukończyła na Politechnice Rzeszowskiej im. Ignacego Łukasiewicza. W roku akademickim 2016/2017 podjęła studia doktoranckie na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej. W tym samym roku rozpoczęła pracę w Katedrze Mechaniki Stosowanej i Robotyki, gdzie obecnie jest asystentem. Jej zainteresowania naukowe – szeroko pojęta mechatronika, programowanie robotów przemysłowych.

