

Jakub KOWALCZYK<sup>1</sup>

Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA<sup>2</sup>

## PROJEKT KONCEPCYJNY ZROBOTYZOWANEGO STANOWISKA DO SPAWANIA BRAM PRZESUWNYCH

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono projekt koncepcyjny zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych. Modele 3D elementów składowych stanowiska wykonano za pomocą programu Autodesk Inventor. Przy użyciu programu Fanuc Roboguide opracowano model całego stanowiska, napisano programy sterujące dla robota i urządzeń pomocniczych, a także przeprowadzono symulację działania stanowiska.

**Słowa kluczowe:** brama przesuwna, zrobotyzowane spawanie, symulacja numeryczna, Fanuc Roboguide

## CONCEPTUAL DESIGN OF A ROBOTIC STATION FOR SLIDING GATES WELDING

**Summary:** A conceptual design of a robotic station for sliding gates welding was presented. 3D models of the station elements were made using the Autodesk Inventor program. A model of the entire station was developed, control programs were written and a simulation of the process was performed in the Fanuc Roboguide program.

**Keywords:** sliding gate, robotic welding, numerical simulation, Fanuc Roboguide

### 1. Wprowadzenie

Automatyzacja procesów produkcyjnych, w tym robotyzacja, stanowi obecnie jedno z kluczowych działań realizowanych w przemyśle. Wdrażanie robotów do różnych dziedzin produkcji pozwala na poprawę wydajności, obniżenie kosztów produkcji i poprawę jakości produktów. Wśród wielu dziedzin, które podlegają ciągłemu doskonaleniu, znajdują się procesy spawalnicze [1].

Zrobotyzowane spawanie to proces spawalniczy, który jest realizowany z wykorzystaniem robotów przemysłowych. Zastosowanie robotyzacji w procesach

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność Mechatronika i Robotyka, email: j.kowalczyk1998@gmail.com

<sup>2</sup> Dr Inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: atrabka@ubb.edu.pl

spawalniczych umożliwia uzyskanie spójnych, równych i precyzyjnych spoin, co przekłada się na wyższą jakość końcowego produktu. Również powtarzalność procesu spawania jest wyższa, co eliminuje błędy ludzkie [2, 3]. Robotyzacja procesu spawania pozwala na osiągnięcie większej efektywności produkcji. Roboty mogą pracować bez przerwy, co pozwala na zwiększenie wydajności oraz skrócenie czasu produkcji [4]. Atutem zrobotyzowanego spawania jest również zwiększenie bezpieczeństwa pracy. Roboty są w stanie wykonywać spoiny w miejscach, gdzie praca człowieka byłaby zbyt niebezpieczna, na przykład w pobliżu źródeł wysokich temperatur, oparów, promieniowania widzialnego i niewidzialnego, odprysków materiału, itp. Dzięki temu, ryzyko wystąpienia wypadków i urazów pracowników jest znacznie zmniejszone [5].

W niniejszej pracy wykonano projekt koncepcyjny zrobotyzowanego stanowiska przeznaczanego do spawania bram przesuwnych, opracowano programy sterujące dla robota i urządzeń pomocniczych oraz przeprowadzono symulację działania zaprojektowanego stanowiska.

## **2. Koncepcja zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych**

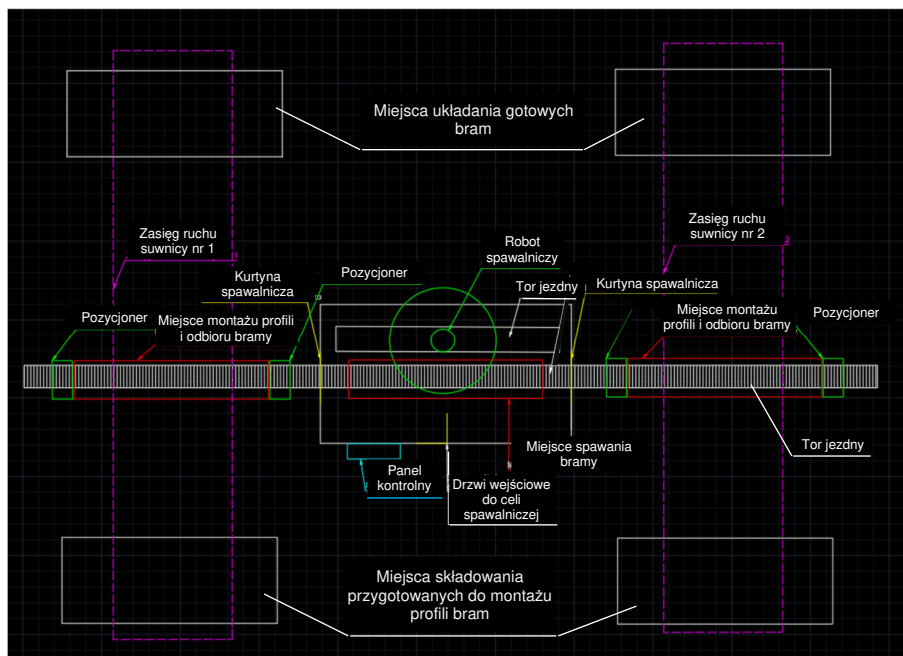
Opracowanie projektu koncepcyjnego zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych rozpoczęto od analizy wymagań dotyczących zajmowanej przez stanowisko przestrzeni, możliwości technicznych realizacji wymaganych prac, kosztu stanowiska i kwestii bezpieczeństwa.

Biorąc pod uwagę powyższe czynniki, a także niektóre z rozwiązań stosowanych w istniejących stanowiskach [6, 8], zdecydowano o zastosowaniu w projektowanym stanowisku jednego robota spawalniczego, który będzie zamontowany na słupowysięgniku. Słupowysięgnik zostanie umieszczony na torze jezdny w celu maksymalnego zwiększenia zasięgu robota i zapewnienia dostępu do trudno dostępnych miejsc podczas spawania. Robot będzie pracował w zamkniętej celi spawalniczej, przez którą zostanie poprowadzony tor jezdny dla dwóch platform. Na każdej z platform zostaną posadowione dwa pozycjonery zapewniające możliwość obrotu umieszczonym pomiędzy nimi stołom spawalniczym.

Przygotowanie bram do spawania, polegające na pobraniu z miejsca składowania odpowiednio przygotowanych (przyciętych) profili i umieszczeniu ich na stole spawalniczym, będzie wykonywane przez pracowników. W momencie montażu profili na jednym stole spawalniczym, robot będzie spawał profile przygotowane do spawania na drugim stole. Gdy robot zakończy spawanie, stół spawalniczy przemieści się na zewnątrz celi spawalniczej, gdzie nastąpi odbiór gotowej bramy za pomocą suwnicy (podobnie jak w rozwiązaniu firmy Wiśniowski [7]). Ponieważ równocześnie z wyjazdem gotowej bramy z celi spawalniczej nastąpi wjazd drugiego stołu do tej celi, podczas odbioru gotowej bramy zostaną zamknięte kurtyny spawalnicze, po czym rozpocznie się spawanie kolejnej bramy.

Opisane czynności będą wykonywane naprzemiennie po obu stronach stanowiska, co jest niezbędne w celu pracy z pełną wydajnością. Wjazdy do celi spawalniczej będą zasłanianie przesuwными kurtynami, a przednia ściana celi będzie wyposażona w szyby ochronne umożliwiające obserwację (kontrolę) procesu spawania. Schemat

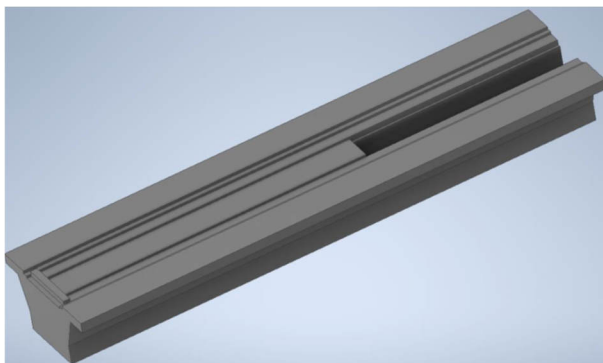
stanowiska opracowanego w oparciu o powyższą koncepcję przedstawiono na rysunku 1



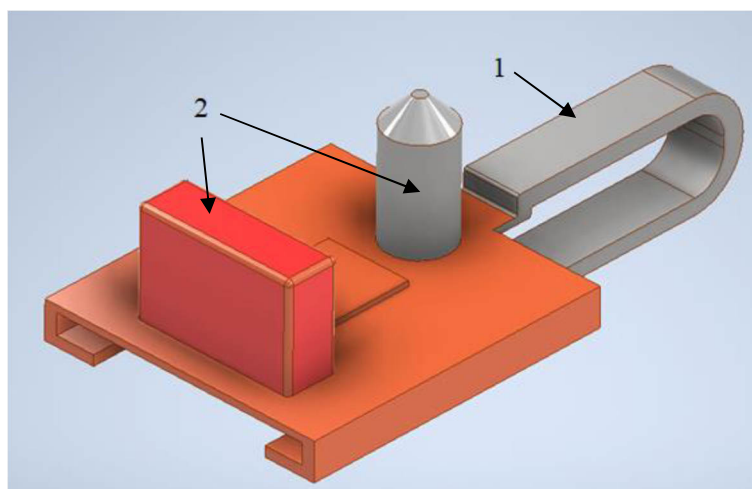
Rysunek 1. Schemat zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych

### 3. Modele geometryczne

Modele geometryczne niektórych z elementów składowych stanowiska wykonano w programie Autodesk Inventor. Model toru jezdny dla robota (rys. 2) oraz model podstawy robota wraz z częścią osprzętu spawalniczego obejmującą źródło prądu do spawania łukowego metodą MIG oraz układ chłodzenia (rys. 3), opracowano w oparciu o rzeczywiste stanowisko spawalnicze firmy Robot Partner Sp. z o.o. [8].



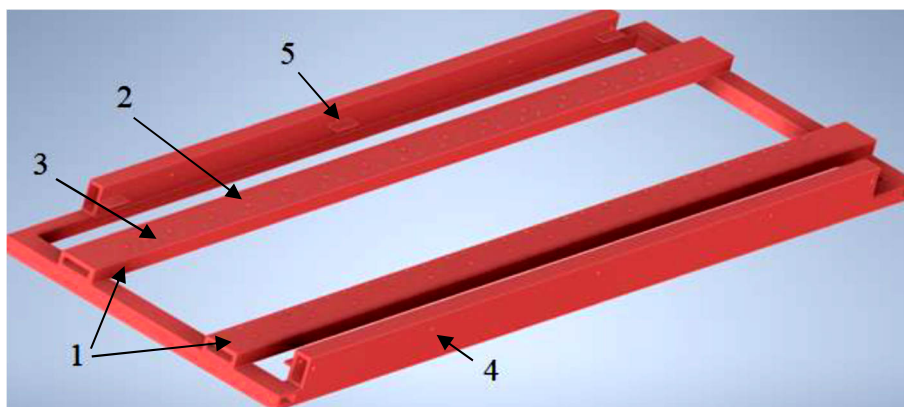
Rysunek 2. Model geometryczny toru jezdny dla robota



Rysunek 3. Model geometryczny podstawy robota, 1 – pas transmisyjny łączący podstawę z torem jezdny robota, 2 – osprzęt spawalniczy

Modele geometryczne takich elementów stanowiska jak słupowysięgnik, tor jezdny wraz z platformami podstaw dla stołów spawalniczych, podstawa pozycjonera, stół spawalniczy, brama przesuwna, cela spawalnicza i suwnica zaprojektowano jako własne rozwiązania.

Projektując stół spawalniczy, którego model geometryczny pokazano na rysunku 4, zdecydowano o zastosowaniu stalowych profili zamkniętych o przekrojach dostosowanych zarówno do przenoszonych obciążeń, jak i używanych elementów montażowych.

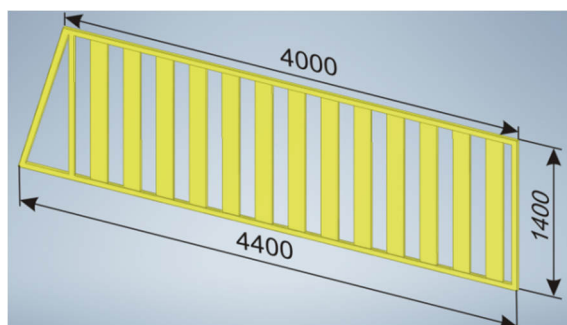


Rysunek 4. Model geometryczny stołu spawalniczego, 1 – główne profile podłużne stołu, 2 – otwór na zacisk spawalniczy, 3 – śruby z łożem walcowym, 4 – otwory na zaciski w profilach bocznych, 5 – podpory na profile podłużne bram

Jako elementy mocujące profile bramy do profili stołu spawalniczego zostaną użyte zaciski spawalnicze (rys. 14). Zaciski te będą umieszczone w otworach 2 wywierconych w dwóch głównych profilach podłużnych 1 stołu, na których opierać się będą profile poprzeczne bramy przesuwnej. Pozycjonowanie profili bramy na

powierzchni stołu spawalniczego zapewnią śruby z łbem walcowym 3, przykręcone do profili podłużnych 1 stołu pomiędzy zaciskami. Dodatkowe otwory na zaciski spawalnicze wykonano w profilach bocznych 4 stołu. Zaciski te będą dociskać profile podłużne bramy do profili poprzecznych. Za podstawę dla profili podłużnych bramy posłużą wsporniki 5 przyspawane do profili bocznych stołu spawalniczego.

Długości profili z których wykonano stół spawalniczy, a zarazem wymiary całego stołu dostosowano do wymiarów bramy przesuwnej, której model geometryczny przedstawiono na rysunku 5. Zarówno wymiary bramy, jak i jej wygląd przyjęto na podstawie istniejących rozwiązań konstrukcyjnych.



Rysunek 5. Model geometryczny bramy przesuwnej

#### 4. Model symulacyjny stanowiska do zrobotyzowanego spawania bram przesuwnych

Model zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych wykonano w programie Fanuc Roboguide. Do opracowania modelu użyto zaimportowanych z programu Autodesk Inventor modeli geometrycznych, jak również elementów zawartych w bibliotekach modeli geometrycznych programu Roboguide, takich jak robot, pozycjonery, uchwyt spawalniczy, kontroler robota, panel sterowniczy, wózki transportowe oraz sylwetki pracowników.

Opracowanie modelu stanowiska rozpoczęto od skonfigurowania tzw. celi. Celę skonfigurowano pod względem wyboru robota, wersji kontrolera robota oraz narzędzia spawalniczego. Ze względu na relatywnie nieduży koszt oraz uniwersalność wybrano robota LR Mate 200iC. Jest to robot sześćoosiowy, który przy maksymalnym obciążeniu 5 kg zapewnia powtarzalność ruchów z dokładnością  $\pm 0.02$  mm. Zasięg robota wynosi 704 mm, a jego masa to 27 kg.

Budowę stanowiska rozpoczęto od zaimportowania wykonanych wcześniej modeli geometrycznych i przyporządkowania ich do odpowiednich grup obiektów. W grupie obiektów typu Machines (tj. obiektów posiadających własne jednostki napędowe) znalazły się tory jezdne robota, stołów spawalniczych i suwnic, ogrodzenie celi spawalniczej z dwiema przesuwными kurtynami, podstawa robota, platformy stołów spawalniczych z podstawami pozycjonerów, a także wózki suwnic z hakami.

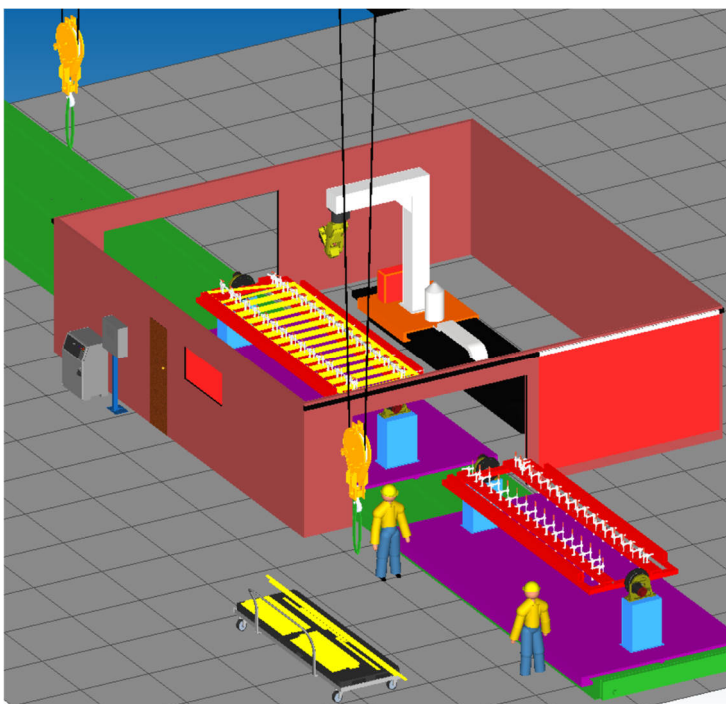
Pozostałą część opracowanych w programie Autodesk Inventor modeli geometrycznych przyporządkowano do grupy obiektów typu Parts, czyli obiektów ruchomych nie posiadających własnych napędów, które jednak mogą być

przemieszczane w obrębie stanowiska albo przy użyciu robota, albo obiektów typu Machines. W tej grupie obiektów znalazła się zarówno brama przesuwna wraz z jej elementami składowymi, jak i zaciski spawalnicze.

Projekt stanowiska uzupełniono modelami geometrycznymi kontrolera robota, panelu sterowniczego oraz wózków transportowych, które pobrano z biblioteki modeli programu Roboguide i przyporządkowano do grupy obiektów typu Fixtures, czyli obiektów nie posiadających ruchomych elementów.

W projekcie stanowiska oprócz kontrolera robota zastosowano dodatkowy kontroler, którego użyto podczas realizacji prac wykonywanych na stanowiskach przeznaczonych do przygotowania bram do spawania oraz odbioru gotowych bram przy użyciu suwnic.

W efekcie wykonanych prac otrzymano model zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego, który pokazano na rysunku 6.

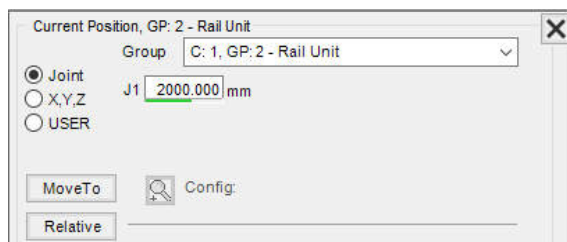


Rysunek 6. Model symulacyjny zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego

#### 4.1. Konfiguracja ruchów robota

Po zaimportowaniu i rozmieszczeniu wszystkich obiektów zgodnie z przyjętą na wstępie koncepcją stanowiska (rys. 1), przystąpiono do definiowania ruchów robota za pomocą wirtualnego odpowiednika ręcznego programatora robota (ang. Teach Pendant). Jako pierwszą zdefiniowano pozycję bazową robota, a następnie przy użyciu ruchu typu Linear zapisano kolejne położenia punktu roboczego narzędzia (ang. Tool Center Point) podczas procesu spawania. Ruchy jałowe narzędzia

zapisywano jako ruchy typu Joint. Sekwencję tę powtórzono dla każdego ustawienia kąтового stołu spawalniczego zadanego przy użyciu pozycjonerów. Aby zaprogramować ruch robota wzdłuż toru jezdny, użyto opcji „Rail Unit”, za pomocą której zdefiniowano możliwość obsługi dodatkowej osi z poziomu kontrolera robota. Zmiany pozycji robota wzdłuż toru jezdny dokonywano przy użyciu programatora robota w zakładce „POSN” (rys. 7).

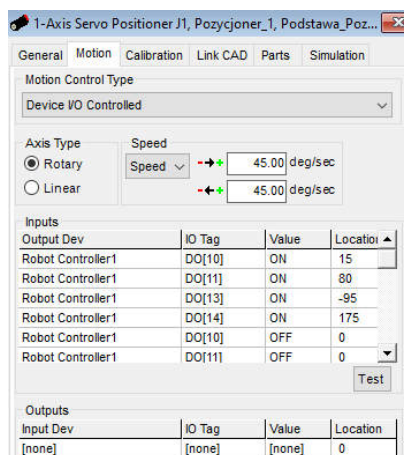


Rysunek 7. Konfiguracja pozycji robota wzdłuż toru jezdny w zakładce „POSN” programatora robota

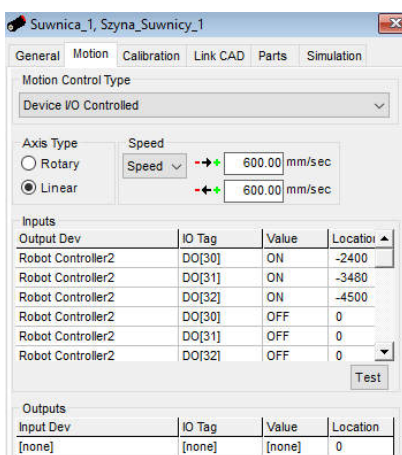
#### 4.2. Konfiguracja obiektów typu Machines

Konfiguracja obiektów typu Machines obejmowała wyodrębnienie nieruchomej części każdego obiektu (ang. Machine) oraz powiązanych z nią części ruchomych (ang. Machine Links), a następnie zdefiniowanie ruchów wykonywanych przez ruchome części poszczególnych obiektów. Definicji ruchów dokonano przy użyciu opcji „Device I/O Controlled”, która pozwala na przyporządkowanie poszczególnych ruchów do wejść i wyjść cyfrowych robota (DI/DO). Definicja ruchów polegała na przyporządkowaniu wybranym sygnałom cyfrowym stanów ON i OFF, a także określeniu w odniesieniu do lokalnych układów współrzędnych wartości przypisanych im przemieszczeń kątowych lub liniowych. Przykładowe konfiguracje przedstawiono na rysunku 8.

a)



b)



Rysunek 8. Konfiguracja obiektów typu Machines: a) dla ruchu obrotowego pozycjonera w celi spawalniczej, b) dla ruchu suwnicy na stanowisku montażowym

## 5. Programy sterujące

W oparciu o konfiguracje wymienione w podrozdziałach 4.1 i 4.2 napisano dwa programy sterujące.

Program „UKLAD” opracowano dla realizacji zadań wykonywanych na stanowiskach przeznaczonych do przygotowania elementów składowych (profilu) bram do spawania, a także realizowanych po przetransportowaniu gotowej bramy poza celę spawalniczą. Program ten opracowano przy użyciu trybu symulacyjnego zaimplementowanego w programie Roboguide.

Drugi program „PROG FULL” napisano bezpośrednio przy użyciu wirtualnego odpowiednika ręcznego programatora robota jako tzw. program główny, z którego wywoływane są podprogramy realizujące zadania wykonywane w celi spawalniczej, takie jak ruch kurtyn spawalniczych, obrót stołu spawalniczego oraz spawanie, a także przerwy pomiędzy nimi.

W programach, oprócz zapisania kolejnych punktów trajektorii ruchu narzędzia, w odpowiednich miejscach aktywowano bądź dezaktywowano ruchy realizowane przez obiekty typu Machines, używając do tego wcześniej zdefiniowanych sygnałów cyfrowych DO/DI. Kod przykładowego programu aktywującego obrót stołu spawalniczego zamieszczono na rysunku 9.

```
! Program STOL_2
1: DO[10]=OFF; ! Ustawienie stołu w pozycji bazowej
2: WAIT 2.00(sec);
3: DO[11]=ON; ! Aktywacja obrotu stołu spawalniczego
                o kat 80° względem pozycji bazowej

/POS
/END
```

Rysunek 9. Kod programu STOL\_2 aktywującego obrót stołu spawalniczego

Komunikację pomiędzy kontrolerami skonfigurowano przy użyciu polecenia „I/O InterConnects” (rys. 10).



Workcell I/O									
	Num Points	Output Dev	Type	Start Point	I/O Tag	Input Dev	Type	Start Point	I/O Tag
▶	1	Robot Controller1	DO	90	DO[90]	Robot Controller2	DI	1	DI[1]

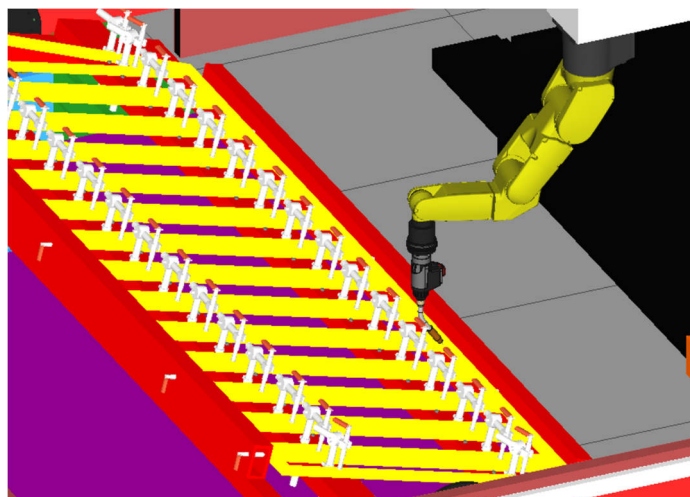
Rysunek 10. Konfiguracja komunikacji pomiędzy kontrolerami

## 6. Opis działania stanowiska

Po zakończeniu konfiguracji wszystkich elementów wchodzących w skład zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych, a także napisaniu programów sterujących dla robota i urządzeń przystąpiono do symulacji działania stanowiska w programie Fanuc Roboguide. Załadowano odpowiednie programy w obu kontrolerach, a następnie aktywowano je jednocześnie z okna Run Panel.

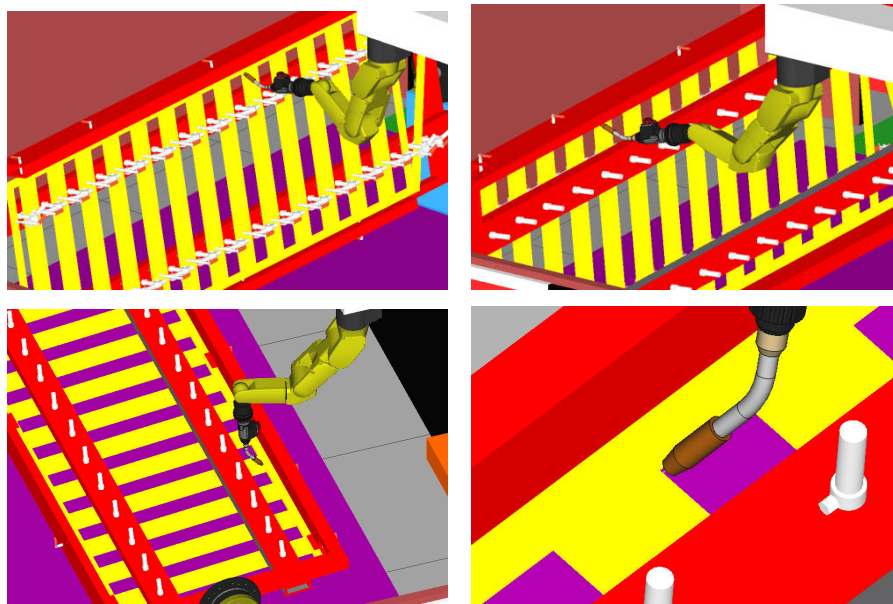


Cykl pracy na zaprojektowanym stanowisku rozpoczyna zasłonięcie celi spawalniczej kurtynami. Po domknięciu kurtyn następuje obrót stołu znajdującego się w celi spawalniczej i rozpoczyna się pierwsza sekwencja spawania wzdłuż krawędzi styku profili poprzecznych i podłużnych bramy (rys. 11).



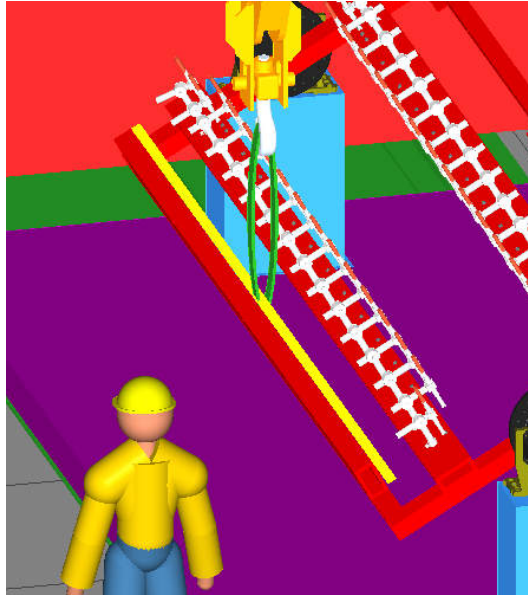
*Rysunek 11. Robot podczas nakładania pierwszej spoiny od górnej strony stołu*

Następnie wykonywane są kolejne spoiny przy odpowiednio dostosowywanych ustawieniach stołu spawalniczego (rys. 12).



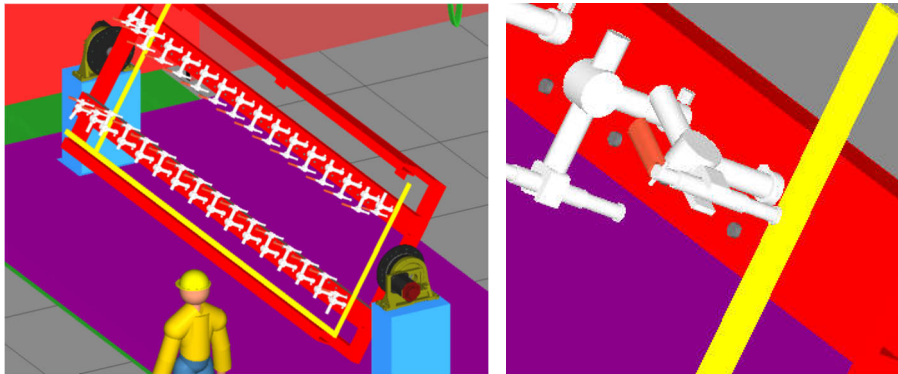
*Rysunek 12. Robot wykonuje kolejne spoiny przy różnych ustawieniach stołu spawalniczego*

W tym samym czasie na stanowisku montażowym z pomocą suwnicy jest transportowany i ustawiany na stole spawalniczym pierwszy z podłużnych profili bramy (rys. 13).



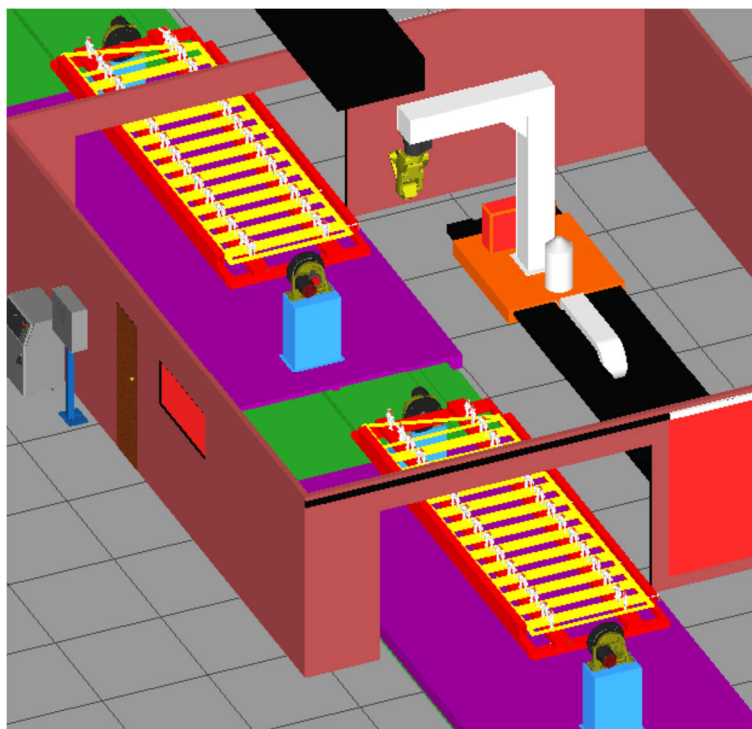
*Rysunek 13. Moment ustawiania podłużnego profilu bramy na stole spawalniczym*

Następnie na stanowisku montażowym kolejne profile są umieszczane na stole spawalniczym zgodnie z szablonem, a ich położenie jest blokowane przy użyciu zacisków spawalniczych (rys. 14).



*Rysunek 14. Montaż profili poprzecznych i zamknięcie zacisku spawalniczego*

Po zakończeniu spawania oraz przygotowaniu profili bramy do spawania na drugim stole spawalniczym, po obu stronach celi spawalniczej zostają otwarte kurtyny, po czym następuje równoczesny wyjazd z celi platformy z pospawaną bramą oraz wjazd do niej platformy z przygotowanymi do spawania profilami (rys. 15).



*Rysunek 15. Przejazd platform ze stolami spawalniczymi po zakończonym spawaniu*

Na zakończenie cyklu gotowa brama jest odbierana za pomocą suwnicy ze stanowiska montażowego znajdującego się po drugiej stronie celi spawalniczej, po czym cykl pracy rozpoczyna się od nowa.

## 7. Podsumowanie i wnioski

W niniejszej pracy opracowano projekt koncepcyjny zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych. W niniejszej pracy opracowano projekt koncepcyjny zrobotyzowanego stanowiska do spawania bram przesuwnych. Celem projektu było opracowanie efektywnego i precyzyjnego rozwiązania, które umożliwi automatyzację procesu spawania bram przesuwnych, zwiększając tym samym wydajność i jakość produkcji.

W ramach projektu przeprowadzono analizę wymagań i specyfikacji dotyczących stanowiska, uwzględniając aspekty techniczne, ergonomię i bezpieczeństwo pracy. Na podstawie tych analiz opracowano stanowisko z odpowiednim robotem spawalniczym, pozycjonerami, systemem zabezpieczeń oraz programami sterującymi pracą robota i urządzeń pomocniczych. Poprawność opracowanych programów sprawdzono w trakcie testów symulacyjnych wykonanych w programie Fanuc Roboguide.

Podczas wykonywania pracy, a także na podstawie przeprowadzonych testów symulacyjnych stwierdzono, że:

- Programowa integracja robota spawalniczego i pozycjonerów ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia bezproblemowego dostępu narzędzia spawalniczego do miejsc kładzenia spoin, a także precyzji ruchu narzędzia potrzebnej podczas spawania.
- Wdrożone systemy zabezpieczeń w postaci zamkniętej celi oraz kurtyn spawalniczych zapewniają bezpieczne środowisko pracy dla operatorów i montażystów.
- Symulacja pracy robota pozwala na wyeliminowanie ryzyka kolizji podczas wykonywania ruchów, co minimalizuje możliwość wystąpienia uszkodzeń podczas testów przeprowadzanych na rzeczywistym stanowisku.
- Symulacja przebiegu procesu produkcyjnego umożliwia oszacowanie wydajności produkcji.
- Symulacja przebiegu procesu produkcyjnego znacznie ułatwia i przyspiesza proces wdrażania stanowiska w rzeczywistych warunkach.

## LITERATURA

1. CEGIELSKI P., KOLASA A., SARNOWSKI T., ONEKSIĄK A.: Wdrożenia przemysłowe projektów badawczo-rozwojowych w zakresie mechanizacji i automatyzacji procesów spawalniczych. *Przegląd Spawalnictwa*, 3(2011)83, 53-59.
2. GUCWA R., KŁYSZ G., KONOPA Z., WOŹNIAK M.: The effect of robotized MIG/MAG welding parameters on the quality of welded joints. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2(2015)60, 1049-1054.
3. KAH P., MARTIKAINEN J.: Current trends in welding processes and materials: improve in effectiveness. *Reviews on Advanced Materials Science*, 2(2012)30, 189-200.
4. FIRDAUS S., JUFRIADI B., SHAHRIL D.A.: Robotic Application in Arc Welding Process – A Review On Current Progress. *International Journal of Mechanical Computational and Manufacturing Research*, 1(2013)2, 1-5.
5. RESTECKA M., WOLNIAK R.: Doskonalenie jakości procesów spawalniczych w wyniku wdrożenia robotyzacji. *Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Produkcji i Jakości*, Częstochowa 2017.
6. Serwis internetowy Robopartner Welding Systems: <https://robopartner.pl/oferta/cele-spawalnicze-roboarc/roboarc-e>, 27.02.2023.
7. Serwis internetowy Astor.pl - Wdrożenie robotów Kawasaki w firmie WIŚNIEWSKI: <https://www.youtube.com/watch?v=g-AjIQmjxuM>, 12.03.2023.
8. Serwis internetowy Robot Partner Sp. z o.o. Spawanie zrobotyzowane - uniwersalne stanowisko spawalnicze: <https://www.youtube.com/watch?v=xS0HfDISJr8&t=55s>, 12.03.2023.