

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Niekonwencjonalne technologie łączenia elementów konstrukcji lotniczych

Unconventional technologies of joining elements of aeronautical constructions

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Politechnika Częstochowska, Instytut Maszyn Przepływowych Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań Results

Analiza procesów łączenia elementów konstrukcji lotniczych ze szczególnym uwzględnieniem operacji technologicznych uciążliwych dla zdrowia operatora oraz wymagających dużej dokładności z wykluczeniem błędów powodowanych przez czynnik ludzki w celu określenia możliwości implementacji równoważnych systemów zrobotyzowanych.

Analysis of processes joining elements of aircraft structures with particular emphasis on technological operations burdensome to the health of the operator well as with demanding a large of accuracy with exclusion errors caused by a human factor in order to determine the possibilities of implementation equivalent robotized systems.

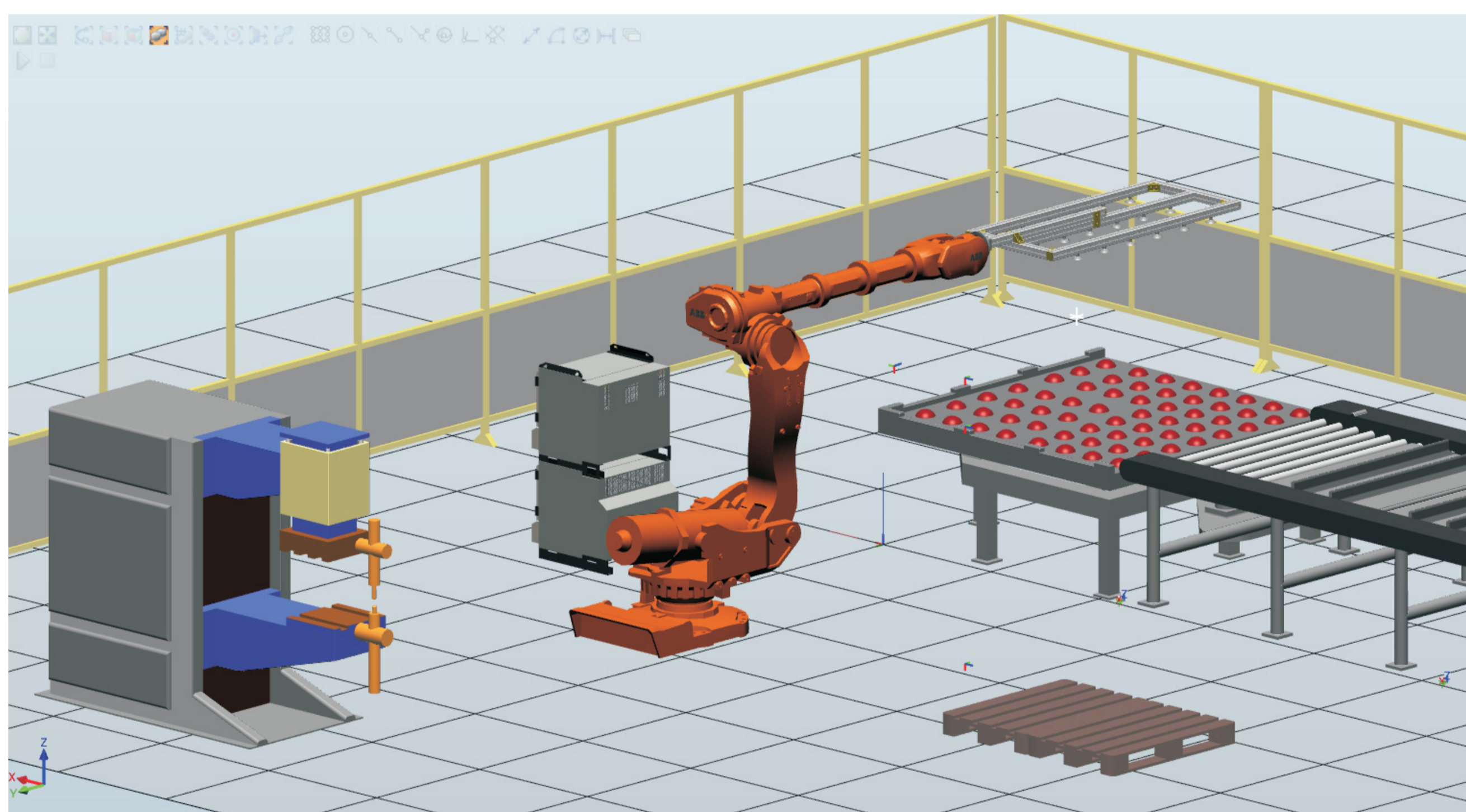
Na potrzeby analizy procesów łączenia elementów konstrukcji lotniczych wytypowano przedsiębiorstwo, w którym tego typu technologie stanowią znaczący procent portfela zamówień. Ponadto brano pod uwagę ilość realizowanych procesów łączenia, czy mówiąc inaczej wielkość produkcji, tak aby docelowo zaproponowana robotyzacja oprócz poprawy walorów technicznych i poprawy warunków bezpieczeństwa i higieny pracy miała mocne podstawy bytu ekonomicznego. Biorąc wymienione aspekty pod uwagę analizę robotyzacji procesów łączenia elementów konstrukcji lotniczych przeprowadzono na przykładzie Polskich Zakładów Lotniczych Sp. z o.o. z Mielca.

Jednym z głównych procesów łączenia konstrukcji lotniczych wymagającym dużej precyzji, realizowanej z udziałem człowieka, a przez to narażonej na błędy związane, z czynnikiem ludzkim jak: pomyłka, stres, zmęczenie, jest operacja zgrzewania pokryw wierzchnich samolotów np. M28. Na obecnym etapie stacjonarna zgrzewarka o prądzie zgrzewania rzędu 500A, zgrzewa punktowo blachy stopów aluminium z elementami kształtowymi.

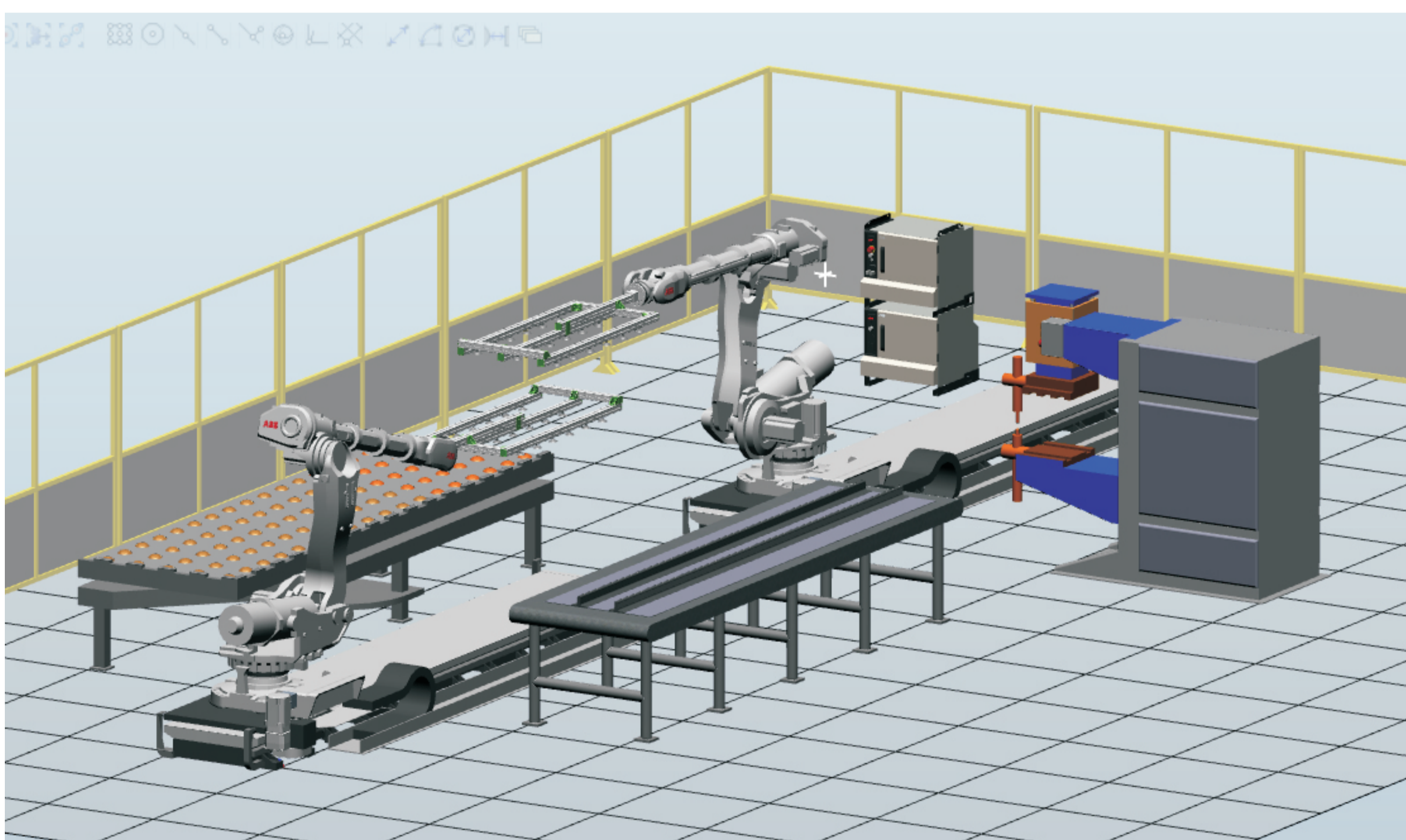
Pozycjonowanie i orientowanie zgrzewanych elementów wykonywane jest ręcznie przez pracowników, których liczba zależy od gabarytów detali. Jest to operacja monotonna, a fakt ręcznego pozycjonowania detalu predysponuje tę operację technologiczną do automatyzacji czy robotyzacji.

Jednym z głównych czynników determinujących celowość robotyzacji procesów technologicznych oprócz wielkoseryjności operacji jest ich szkodliwe oddziaływanie na człowieka lub środowisko. Technologie nitowania stosowane w celu łączenia elementów konstrukcji lotniczych charakteryzujące się dużą ilością operacji, w których wymagana jest znaczna precyzja, a przez fakt ręcznego pneumatycznego zakuwania generujące hałas na poziomie uciążliwym dla człowieka są predysponowane do zastąpienia ich rozwiązaniami równoważnymi wykorzystującymi roboty przemysłowe. Na potrzeby dalszych rozważań wybrano proces nitowania elementów dźwigaru skrzydła samolotu M28.

W dalszej części analizy zasymlulowano proces nitowania dźwigaru skrzydła oraz proces zgrzewania elementów poszycia samolotu. Wykorzystując oprogramowanie RobotStudio oraz importując własne elementy (wykonane modele CAD), zbudowano w środowisku wirtualnym dwa gniazda zrobotyzowane realizujące proces zgrzewania punktowego. Dla potrzeb symulacji, zaprojektowano narzędzia chwytające elementy poszycia, zamodelowano zgrzewarkę, zamodelowano stację pozycjonowania blachy oraz transporter taśmowy. Zbudowane zostały dwie stacje, jedna do zgrzewania elementów krótkich o długości nie przekraczającej 1.5 [m], w której wykorzystano do manipulacji jeden robot (rys. 1) oraz druga do zgrzewania blach długich o długości do 5 [m] wyposażoną w dwa roboty (rys. 2).



Rys.1. Stacja do zgrzewania detali krótkich.
Fig.1. Welding station short details.

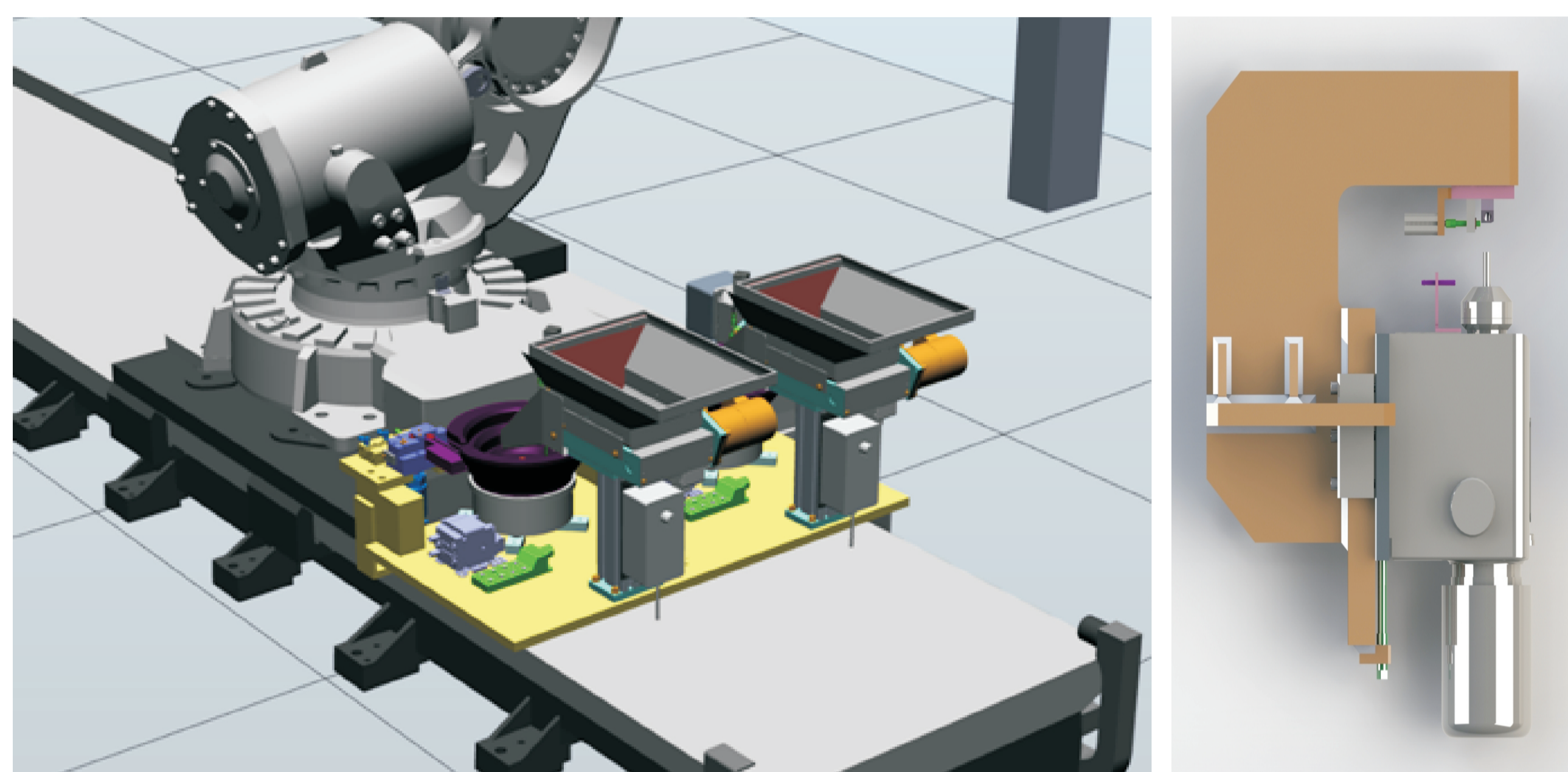


Rys.2. Stacja do zgrzewania detali długich
Fig.2. Welding station long details.

Drugim analizowanym procesem predysponowanym do robotyzacji przez fakt generowania wysokiego poziomu hałasu oraz wibracji jest operacja nitowania. Proces robotyzacji przez zastosowanie nitownicy bezusarowej umożliwia znaczącą redukcję poziomu hałasu. Ponadto wykorzystanie robotów, a tym samym ograniczenie operacji wykonywanych przez człowieka, znacząco zredukuje szkodliwe drgania i wibracje będące przyczyną chorób zawodowych operatorów ręcznych nitownic udarowych.

Na potrzeby modelowania i symulacji procesu nitowania, po konsultacji z pracownikami Polskich Zakładów Lotniczych Sp. z o.o. wytypowano element płatowca przeznaczony do nitowania. Na potrzeby prac badawczych model elementu uzyskano przy pomocy metod inżynierii odwrotnej, czyli skanera 3D oraz odpowiedniego oprogramowania. Na podstawie otrzymanego modelu przy pomocy oprogramowania 3D-CAD wykonano uproszczony model dźwigara przeznaczony do dalszego modelowania i symulacji.

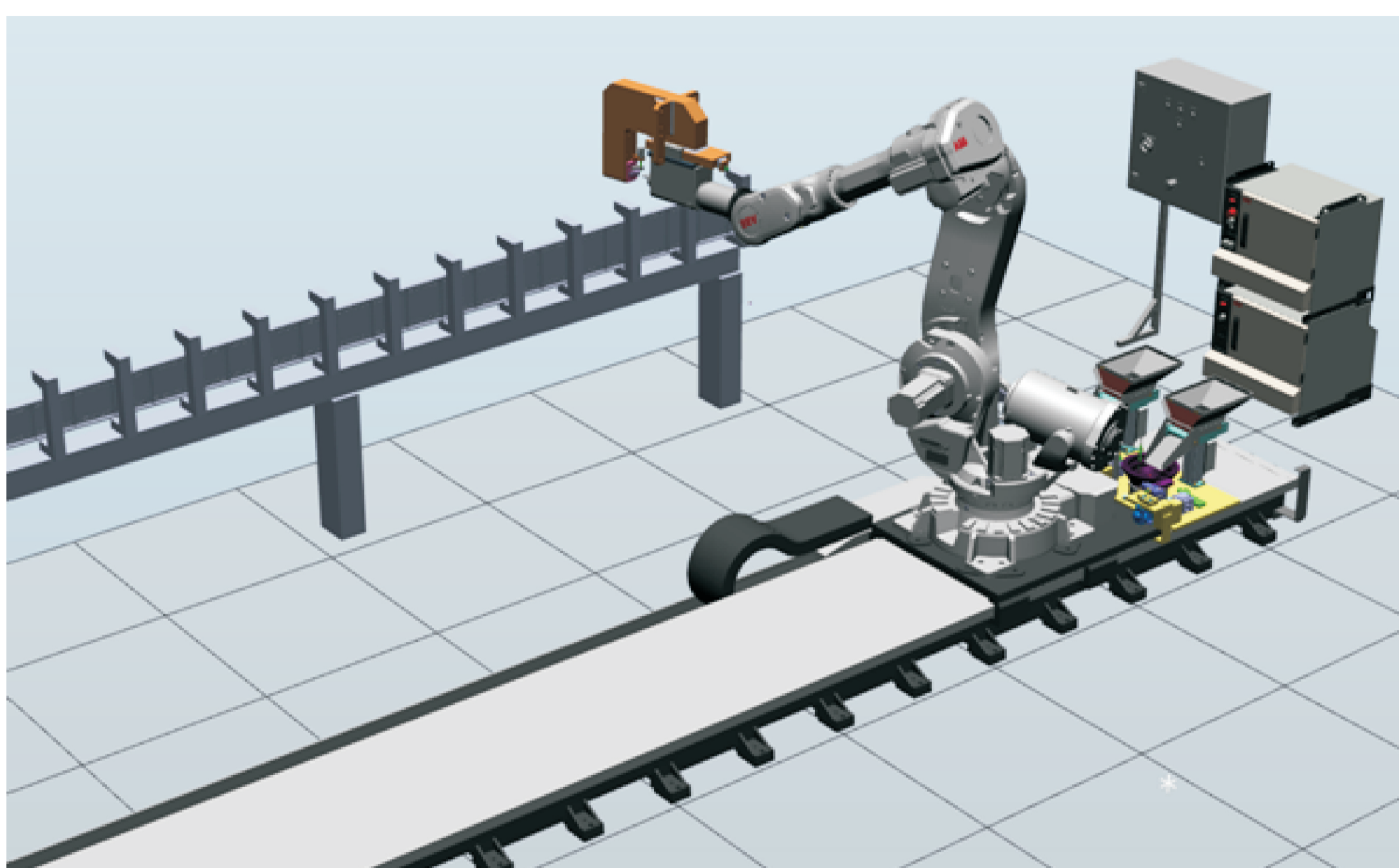
Po wybraniu obiektu do symulacji procesu nitowania dobrano manipulator oraz narzędzia. Jako narzędzie nitujące bezusarowo wybrano jednostkę nitującą NE200 firmy Automationstechnik. Zaproponowano podajnik nitów umożliwiający podawanie nitów o zdefiniowanej wcześniej średnicy. W symulacji zdecydowano się na zastosowanie dwóch podajników, podających nity o różnych średnicach. Podajniki zamodelowano na platformie, poruszającej się wraz z manipulatorem po torze jezdny (rys. 3).



Rys.3. System segregacji nitów oraz nitownica
Fig.3. The rivets and riveting segregation system

Nity do jednostki podawane są pneumatycznie. Zawiera ona sterowany kontrolerem robota stempel oraz zakuwnik. Jednostka nitująca posiada szeroki zakres regulacji oraz czujniki podania nitu. Ponadto jednostka nitująca została zamodelowana w oprogramowaniu 3D-CAD, a następnie zapisana do formatu przenośnego *.SAT. Z pliku *.SAT w oprogramowaniu RobotStudio wykonano mechanizm o dwóch stopniach swobody sterowany sygnałami cyfrowymi.

Reasumując zaproponowane i zamodelowane narzędzie nitujące może być wykorzystywane w pracach symulacyjnych i weryfikacyjnych w dalszej części prac badawczych. Dla zaproponowanego narzędzia nitującego dobrano robot i tor jezdny.



Rys.4. Zrobotyzowana stacja nitująca
Fig.4. Riveting robot station

Projekt aplikacji przygotowano w oparciu o wymienione założenia:

- Robot przeznaczony jest do wiercenia i procesu nitowania dźwigaru skrzydła samolotu M28, produkowanego przez Polskie Zakłady Lotnicze Sp. z o.o. - PZL Mielec.
- Nitowane elementy to blachy, płaskowniki oraz kątowniki ze stopów aluminium, o grubości max.0,8[mm].
- Nitowane elementy to blachy, płaskowniki oraz kątowniki ze stopów aluminium, o grubości max.0,8[mm].
- Nitowane elementy to blachy, płaskowniki oraz kątowniki ze stopów aluminium, o grubości max.0,8[mm].
- Używane średnice nitów: od 2 do 6 [mm].
- Łączone elementy o długości od 7,2 m do 9 metrów.
- Masa nitownicy z osprzętem. max. 200 kg
- Robot będzie miał zamocowane jednocześnie 2 narzędzia: głowicę do nitowania i elektrowrzeciono.

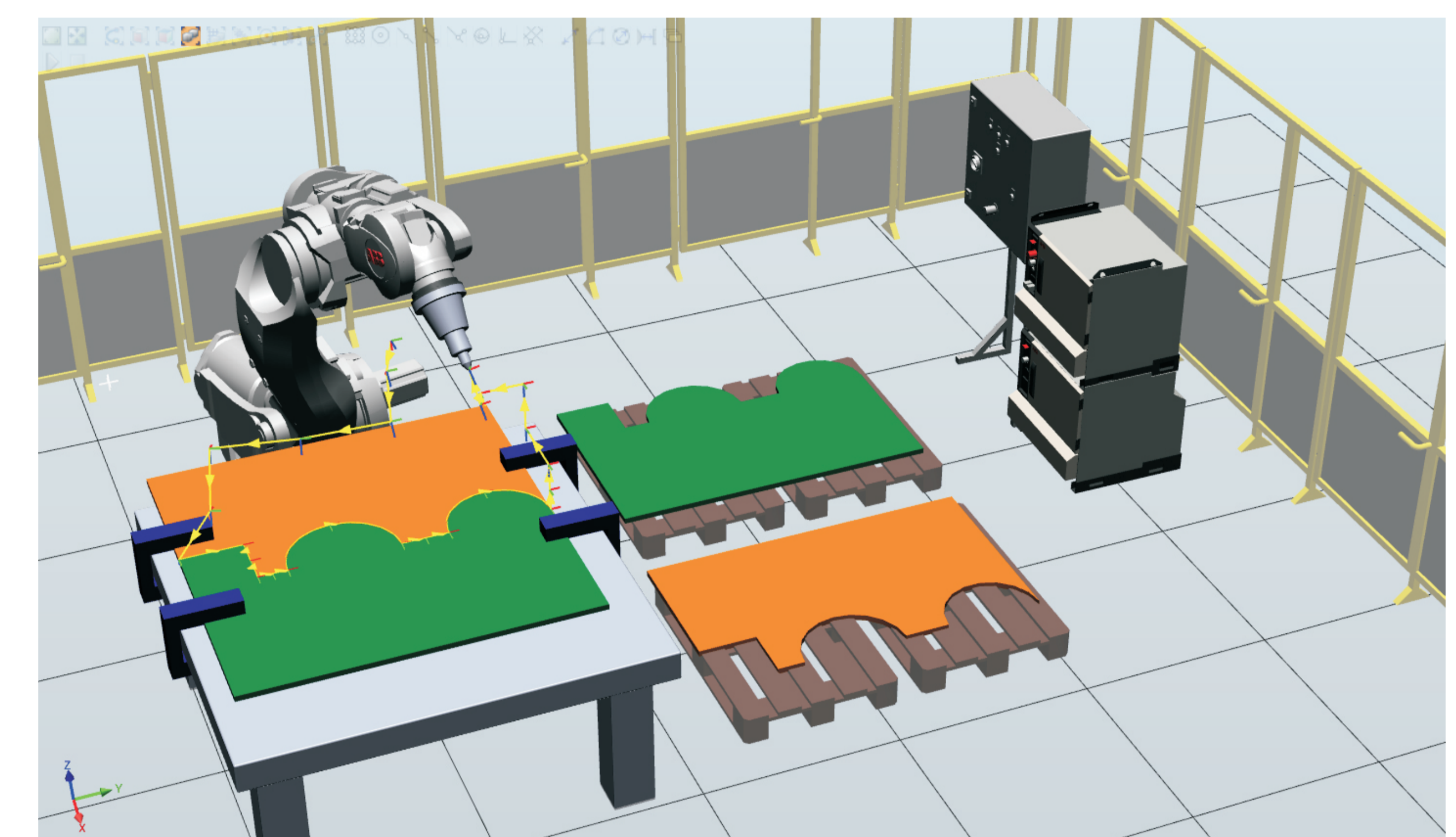
Reasumując zaproponowano rozwiązanie pozwalające na przyjęcie konstrukcji narzędzia przeznaczonego do nitowania struktur nośnych płatowców. Bazując na rozwiązaniach stosowanych w przemyśle zaproponowano system aplikacji narzędzia na robocie znajdującym się na torze jezdny z uwzględnieniem systemu podawania nitów dla dwóch typów nitów.

Kolejnym przeanalizowanym pod względem robotyzacji procesem łączenia dla potrzeb przemysłu lotniczego jest zgrzewanie tarciove z przemieszczeniem (FSW – Friction Stir Welding). W metodzie tej występuje pełna penetracja w stanie stałym. Dla przemysłu lotniczego istotne jest, że metoda ta pozwala na spajanie bez osiągnięcia punktu topienia materiałów metalowych w tym podstawowych w przemyśle lotniczym stopów aluminium. Łączone mogą być blachy i płyty aluminiowe bez wprowadzania spoiwa i bez stosowania gazów osłonowych, a uzyskane złącze wolne jest od porowatości i wewnętrznych pęcherzy.

Istotnymi dla przemysłu lotniczego zaletami zgrzewania tarciove są:

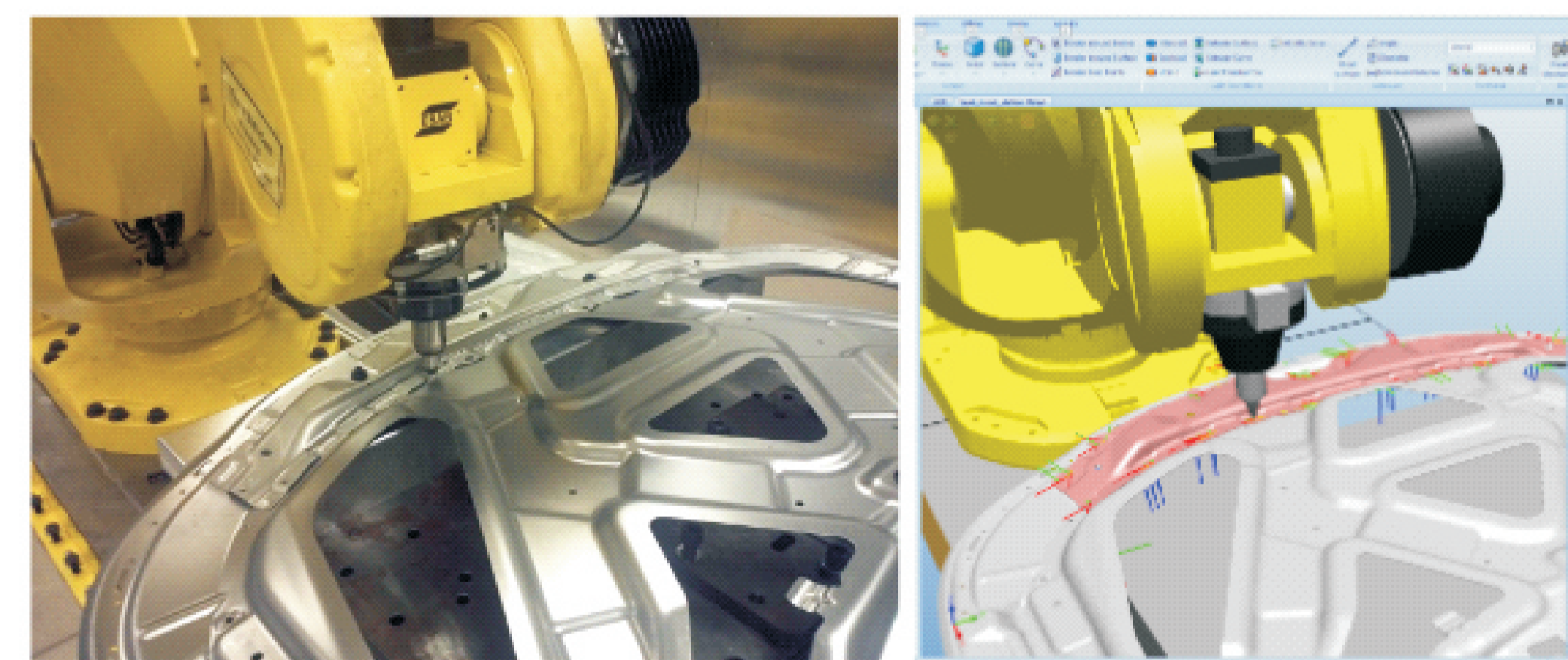
- wysoka jakość złączy, dzięki kontrolowanej obróbce cieplno-mechanicznej zachodzącej w czasie procesu zgrzewania;
- możliwość łączenia przedmiotów o skomplikowanych kształtach znacznych wymiarach;
- możliwość łączenia materiałów różniących się znacznie własnościami fizycznymi;
- duża powtarzalność wyników zgrzewania oraz możliwość sterowania i kontroli jakości w czasie cyklu zgrzewania;
- prosta obsługa urządzeń i łatwość robotyzacji.

Robotyzacja procesu zgrzewania tarciove z przemieszczeniem posiada swoje wdrożenia w przemyśle lotniczym. Pionierem w dziedzinie robotyzacji procesu zgrzewania tarciove jest firma ABB, ponadto tę technologię rozwija również firma KUKA. Firma ABB dostarcza zaawansowane systemy zrobotyzowane, we współpracy z firmą ESAB specjalizującą się w spawalnictwie oraz innych technologiach łączenia metali. Owocem współpracy są praktyczne zastosowania FSW, dedykowane oprogramowanie oraz narzędzia. Gotowy system ESAB FSW umożliwia elastyczne łączenie złożonych struktur. Zdolność do wykonywania spoin w dowolnym kierunku 3-wymiarowej przestrzeni roboczej zwiększa możliwości wykorzystania w przemyśle lotniczym aplikacji FSW. Ze względu na zaawansowane rozwiązania firm ABB oraz ESAB w dziedzinie FSW zdecydowano się wykorzystać ich rozwiązania w propozycji budowy stacji zrobotyzowanej dedykowanej do łączenia elementów konstrukcji lotniczych. W oprogramowaniu RobotStudio zbudowano gniazdo zrobotyzowane (rys. 5) składającą się z robota IRB 7600 zmodyfikowanego do wykorzystania przy FSW. W oprogramowaniu CAD na podstawie dokumentacji producenta wykonano model wrzeciona stosowanego w FSW. Model CAD wrzeciona został zaimportowany do RobotStudio, gdzie zamodelowano go jako narzędzie robota z TCP. Wybrany i zamodelowany robot osiąga prędkość roboczą o promieniu 2.5 m w którym siła w osi z narzędzia, wywieranego podczas zgrzewania dochodzi do 13 kN. Kontroler sterujący wykorzystuje dodatek sprzętowo-programowy state-of-the-art IRC5, wbudowane rozwiązanie umożliwia sterowanie siłą w kontakcie z dużą dokładnością ruchu.



Rys.5. Zrobotyzowane stanowisko do zgrzewania tarciove z przemieszczeniem
Fig.5. Robotic station for Friction Stir Welding

Dla potrzeb przeprowadzonej analizy w oprogramowaniu CAD zamodelowano dwie blachy widoczne na rys. 5. Następnie wykonano symulację ruchu robota po trajektorii zadanej w procesie zgrzewania tarciove. Trajektorię wykonano off-line i wykorzystano zaawansowane narzędzia dostępne w oprogramowaniu RobotStudio takie jak możliwość generowania punktów trajektorii robota na podstawie krawędzi modelu CAD. Zaprojektowane do FSW stanowisko wraz z oprogramowaniem mogą być odwzorowane w rzeczywistym rozwiązaniu podobnie jak zaprezentowano na rys. 6.



Rys.6. Porównanie rzeczywistego oraz wirtualnego stanowiska do FSW
Fig.6. Comparison of real and virtual station for FSW

Reasumując, zaproponowano zrobotyzowane stanowisko do zgrzewania tarciove z przemieszczeniem. Po analizie istniejących rozwiązań zdecydowano się wykorzystać robota IRB 7600 firmy ABB. Zbudowano system wraz z wszystkimi niezbędnymi elementami, zamodelowano narzędzie oraz wykonano trajektorię testową dla łączenia dwóch przykładowych detali.

Wnioski Conclusions

Konkludując można stwierdzić, że z przeanalizowanych procesów łączenia elementów konstrukcji lotniczych, proces nitowania i zgrzewania należałoby poddać procesowi robotyzacji ze względu na eliminację zagrożenia powstawania elementów brakowych na skutek działania czynnika ludzkiego. Ewentualna robotyzacja przyniosłaby niewątpliwie korzyści w poprawie dokładności pozycjonowania połączeń. Z pośród dwóch wskazanych procesów, nitowanie charakteryzuje się generowaniem hałasu na poziomie uciążliwym dla pracy człowieka i narzuca konieczność stosowania środków BHP w celu ochrony słuchu. Fakt ten predysponuje – w pierwszej kolejności – tę operację do automatyzacji czy robotyzacji lub innych alternatywnych rozwiązań. Przeprowadzona analiza możliwości robotyzacji wskazanych procesów na etapie symulacji pozwala na stwierdzenie, że tego typu rozwiązania są możliwe do zrealizowania.

In this poster we presents three robotic stations, i.e. welding robotic station, riveting robot station and robotic station for friction stir welding. The proposed solution was simulated and tested in the Robot Studio. In our opinion, presented connecting plates technologies should be robotized due to the high noise and improve the accuracy of performance.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Prace symulacyjne przeprowadzono we współpracy z:

- Polskimi Zakładami Lotniczymi Sp. z o.o. z Mielca.

Simulation work was carried out in collaboration with:

- PZL Mielec A Sikorsky Aircraft Company.