

Szymon JAROSZYŃSKI¹, Arkadiusz TRĄBKA

Opiekun naukowy: Arkadiusz TRĄBKA²

PROJEKT KONCEPCYJNY ZROBOTYZOWANEGO STANOWISKA DO LASEROWEGO CIĘCIA 3D

Streszczenie: Przedstawiono projekt koncepcyjny zrobotyzowanego stanowiska do laserowego cięcia przestrzennego. Modele geometryczne elementów stanowiska wykonano w programie Autodesk Inventor. Na podstawie modeli geometrycznych w programie Fanuc Roboguide opracowano model symulacyjny, napisano programy sterujące dla robota oraz urządzeń pomocniczych, a także zasymulowano działanie stanowiska.

Słowa kluczowe: stanowisko zrobotyzowane, cięcie laserowe, symulacja numeryczna, Fanuc Roboguide, projektowanie wspomagane komputerowo

CONCEPTUAL DESIGN OF A ROBOTIC STATION FOR 3D LASER CUTTING

Summary: A conceptual design of a robotic stand for laser 3D cutting was presented. Geometrical models of the station elements were made in Autodesk Inventor. Based on geometrical models, a simulation model was developed in the Fanuc Roboguide program, control programs for the robot and auxiliary equipment were written, and the operation of the station was simulated.

Keywords: robotic station, laser cutting, numerical simulation, Fanuc Roboguide, computer-aided design

1. Wprowadzenie

W przemyśle stosunkowo szybko postępuje automatyzacja i robotyzacja różnego rodzaju procesów obróbki metali, jak i tworzyw sztucznych. Automatyzacja tych procesów jest podyktowana zarówno rozwijającą się technologią, jak i rosnącym zapotrzebowaniem na szybką i precyzyjną obróbkę. Duże znaczenie przy

¹Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, kierunek Automatyka i Robotyka, specj. Mechatronika i Robotyka, email: szymjare@gmail.com

²dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: atrabka@ath.bielsko.pl

podejmowaniu decyzji o robotyzacji odgrywa kwestia ochrony pracowników przed zagrożeniami, szczególnie takimi jak pyły, gazy, wysoka temperatura, ryzyko poparzenia [1].

Jednym z procesów, które coraz częściej poddawane są automatyzacji i robotyzacji, jest proces laserowego cięcia. W procesie tym wykorzystuje się narzędzie, które jest urządzeniem wytwarzającym skupioną wiązkę światła, zwaną wiązką laserową.

Sam proces laserowego cięcia polega na naprowadzeniu wiązki lasera na obrabiany materiał, nagrzeniu go do temperatury topnienia, a następnie spowodowaniu przejścia w stan gazowy lub spalenia materiału. Podczas prowadzenia lasera wzdłuż szczeliny cięcia stosuje się również gaz wspomagający, mający na celu wydmuchanie powstałego podczas cięcia ciekłego lub odparowanego materiału [2].

Automatyzacji i robotyzacji procesu cięcia laserowego dokonuje się poprzez odpowiednie dostosowanie istniejących stanowisk lub też projektuje się je od podstaw. Opisy przykładowych rozwiązań, stosowanych podczas budowy zrobotyzowanych stanowisk do cięcia laserowego, zamieszczono w [3-5]. W pracy [6] zamieszczono informacje na temat doboru parametrów pracy układu robot-laser, w zależności od rodzaju i grubości ciętego materiału. Z kolei w pracy [7] przedstawiono zasady doboru mocy lasera i prędkości cięcia oraz innych wytycznych postępowania w przypadku cięcia laserem detali o skomplikowanych kształtach i zróżnicowanej grubości. Sterowanie adaptacyjne robotem przemysłowym wyposażonym w głowicę tnącą omówiono w pracy [8]. W pracy [9] wskazano na korzyści, jakie przy projektowaniu zrobotyzowanych stanowisk do cięcia laserowego stwarza możliwość wykorzystania specjalistycznego oprogramowania do programowania robotów oraz komputerowej symulacji ich działania.

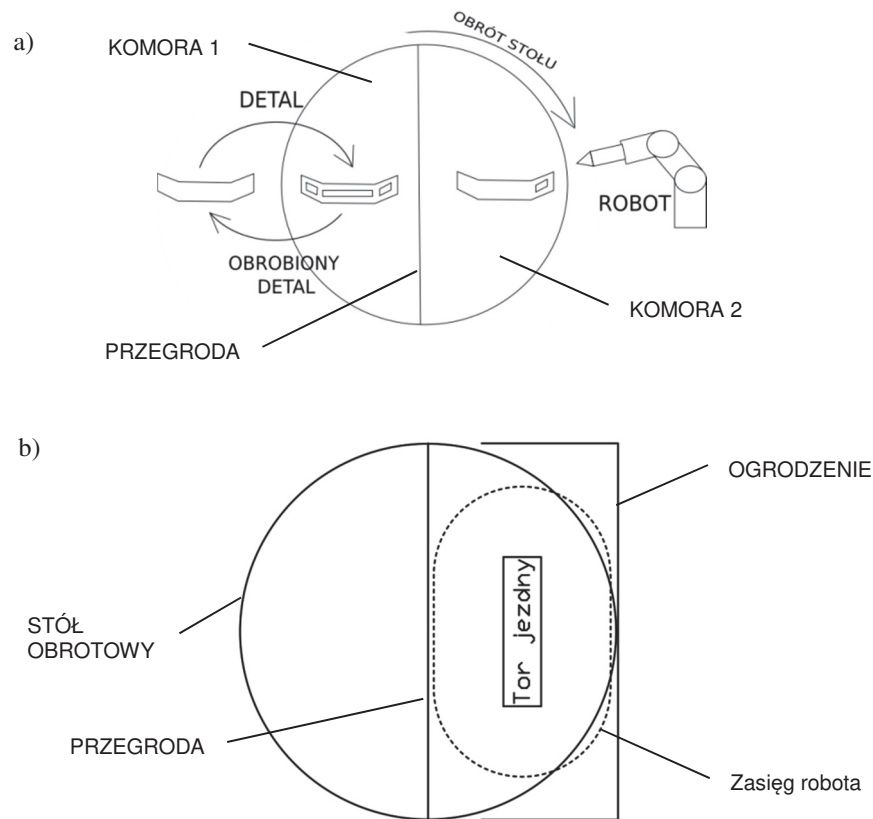
W niniejszej pracy za cel przyjęto wykonanie projektu koncepcyjnego zrobotyzowanego stanowiska do laserowego cięcia przestrzennego (3D), opracowanie programów sterujących dla robota oraz urządzeń pomocniczych, a także przeprowadzenie symulacji działania stanowiska.

2. Koncepcja stanowiska do laserowego cięcia 3D

Przystępując do opracowania koncepcji zrobotyzowanego stanowiska do laserowego cięcia 3D, brano pod uwagę:

- wielkość zajmowanej przez stanowisko przestrzeni,
- kwestie bezpieczeństwa,
- koszt stanowiska,
- uniwersalność w zakresie obróbki detali zróżnicowanych wymiarowo oraz geometrycznie,
- łatwość przestrojenia na inny detal.

Biorąc pod uwagę powyższe założenia, a także konstrukcje istniejących stanowisk do cięcia laserowego, z którymi zapoznano się między innymi w opracowaniach [10-12], zdecydowano o przyjęciu koncepcji stanowiska opartej o dwukomorowy stół obrotowy oraz robota z głowicą tnącą, którego obszar roboczy powiększono poprzez zastosowanie toru jeźdźnego (rys. 1).



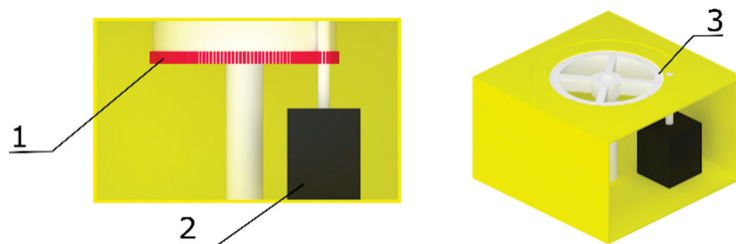
Rysunek 1. a) Schemat stanowiska z dwukomorowym stołem obrotowym, b) Przyjęta koncepcja stanowiska

Zdecydowano o zastosowaniu lasera światłowodowego, który pozwala na wycinanie w szerokiej palecie materiałów, w tym posiadających powierzchnie refleksyjne [13].

3. Modele geometryczne elementów stanowiska

Na podstawie przyjętej koncepcji zdecydowano, że stanowisko składać się będzie z podstawy stołu obrotowego z mechanizmem napędowym, stołu obrotowego z dwoma zespołami pozycjonerów, toru jezdny do którego podwieszony będzie manipulator robota z głowicą tnącą, ram mocujących obrabiane detale oraz ogrodzenia ochronnego.

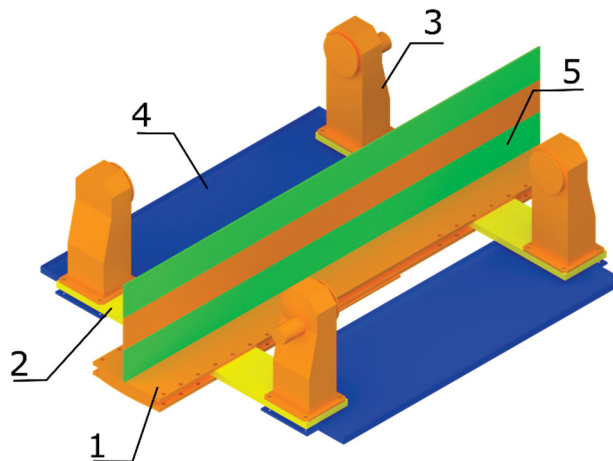
Do wykonania modeli geometrycznych użyto oprogramowania Autodesk Inventor. Budowę stanowiska rozpoczęto od wykonania modelu geometrycznego podstawy stołu obrotowego z mechanizmem napędu stołu (rys. 2). Zdecydowano o zastosowaniu do napędu stołu walcowej przekładni zębatej sprzężonej z serwomotorem. Całość umieszczono w blaszanej obudowie.



Rysunek 2. Model geometryczny podstawy z mechanizmem napędu ruchu obrotowego stołu

1 - przekładnia zębata, 2 - serwomotor, 3 - podstawa stołu obrotowego

Do podstawy obrotowej przytwierdzona jest platforma stołu obrotowego, oznaczona na rysunku 3 numerem 1. Platforma ta posiada otwory umożliwiające montaż podstaw pozycjonerów oznaczonych na rysunku 3 numerem 2. Odległość między podstawami pozycjonerów można regulować, co pozwala na dostosowanie stanowiska do różnej wielkości ram mocujących obrabiane detale. Montowane na podstawach pozycjonery 3 to urządzenia jednoosiowe pozwalające na pewne zamocowanie ramy z dwóch stron. Jeden z pozycjonerów pełni funkcję stabilizacji ramy oraz jej podparcia, natomiast drugi w parze posiada serwomotor, który umożliwia zmianę położenia kąтового ramy. Od spodu do podstaw pozycjonerów przykręcony jest pojemnik 4 na odcięte fragmenty materiału. Zarówno pozycjonery, jak i pojemniki na odpady, znajdują się po obu stronach platformy stołu, co odpowiada przyjętej koncepcji stanowiska, opartej o dwukomorowy stół obrotowy. Komory są odgradzone od siebie przegrodą 5. Przegroda składa się z trzech płyt, które są wsuwane na pręty osadzone w platformie stołu. Umożliwia to łatwy montaż i demontaż przegrody.

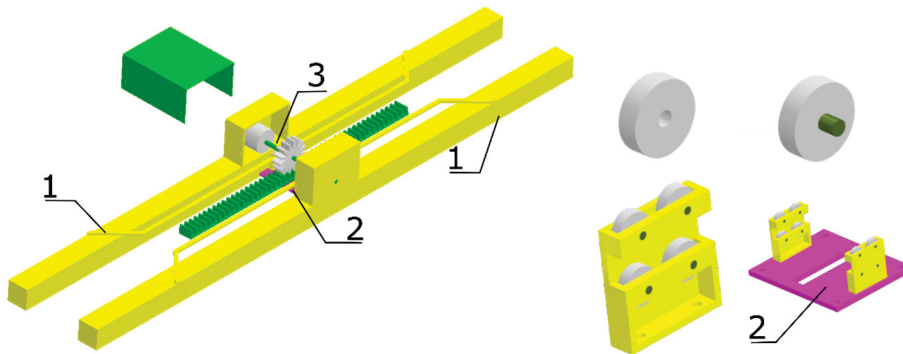


Rysunek 3. Model geometryczny stołu obrotowego

1 - platforma stołu obrotowego, 2 - podstawa pozycjonera, 3 - pozycjoner,
4 - pojemnik na odcięte fragmenty materiału, 5 - przegroda ochronna

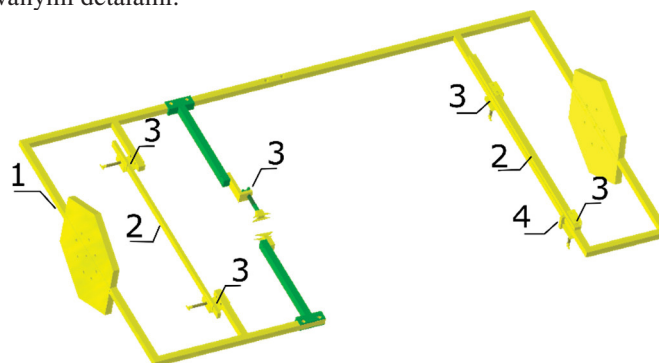
Na stanowisku zastosowano robota FANUC LR Mate 200iC o udźwigu 5 kg i zasięgu ramienia 0.7 m, którego obszar roboczy powiększono poprzez zastosowanie

podwieszanego toru jezdnygo. W modelu geometrycznym toru jezdnygo (rys. 4) uwzględniono belki nośne z prowadnicami, po których za pośrednictwem zespołu rolek porusza się platforma do podwieszania robota. Napęd platformy realizowany jest przy użyciu przekładni liniowej, która zamienia ruch obrotowy serwowymotoru na ruch liniowy platformy.

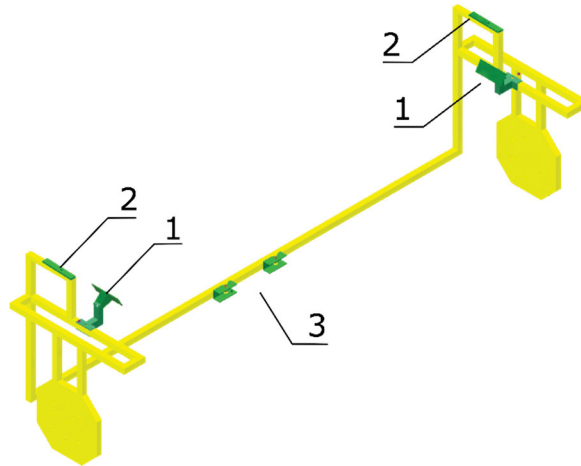


Rysunek 4. Model geometryczny podwieszanego toru jezdnygo dla robota
1 - belki nośne z prowadnicami, 2 - platforma do podwieszenia robota, 3 - przekładnia liniowa z serwowmotorem

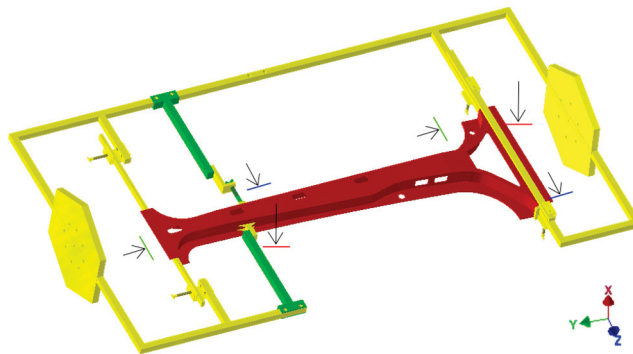
Zgodnie z założeniem przyjętym na etapie opracowywania koncepcji stanowiska, dotyczącym jego uniwersalności w zakresie obróbki detali różnicowanych wymiarowo oraz geometrycznie, wykonano dwa modele geometryczne ram podtrzymujących obrabiane detale. W konstrukcji ram przewidziano możliwość ich szybkiego dostosowania do detali o zróżnicowanej geometrii poprzez zastosowanie imadeł oraz regulowanych listew montażowych. Z uwagi na to, iż w przemyśle cięcia laserowe stosowane jest najczęściej w procesie produkcji części samochodowych, jako przykładowe detale wybrano zderzak samochodowy oraz słupki nadwozia B. Modele geometryczne ram z założonymi elementami montażowymi, umożliwiającymi prawidłowe zamocowanie wyżej wymienionych detali, przedstawiono na rys. 5 i 6. Z kolei na rys. 7 i 8 pokazano modele ram z zamocowanymi detalami.



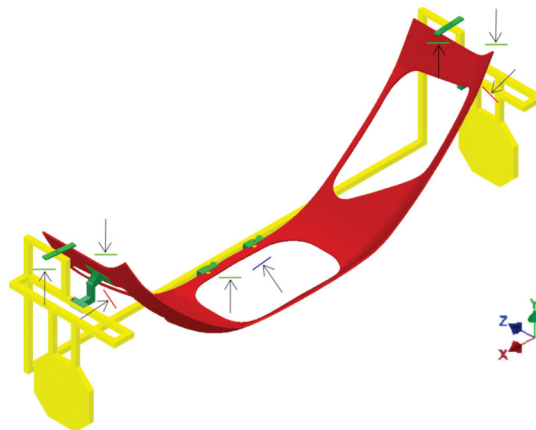
Rysunek 5. Model geometryczny ramy z założonymi elementami montażowymi do mocowania słupka nadwozia B
1 - rama, 2 - listwy montażowe, 3 - imadła, 4 - zderzak



Rysunek 6. Model geometryczny ramy z założonymi elementami montażowymi do mocowania zderzaka
1 - regulowane podpory, 2 - zamki, 3- imadła

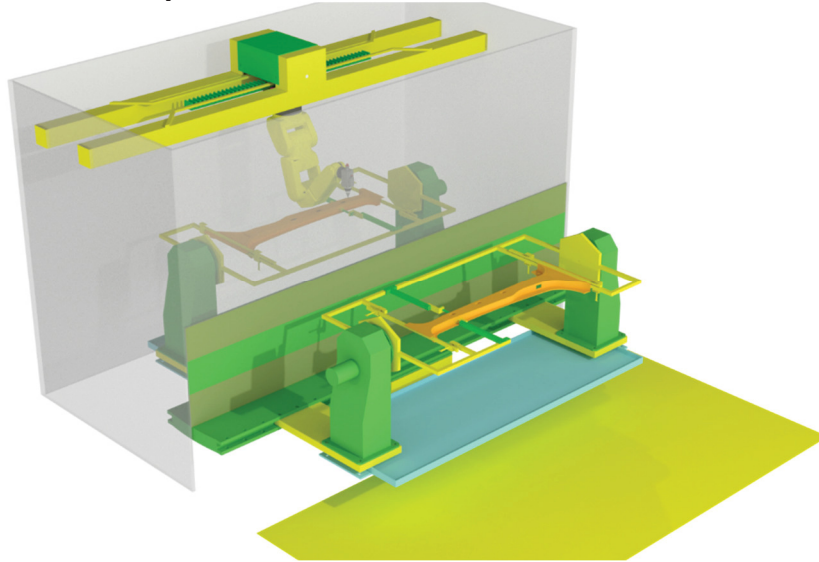


Rysunek 7. Słupek nadwozia B zamocowany w ramie



Rysunek 8. Zderzak zamocowany w ramie

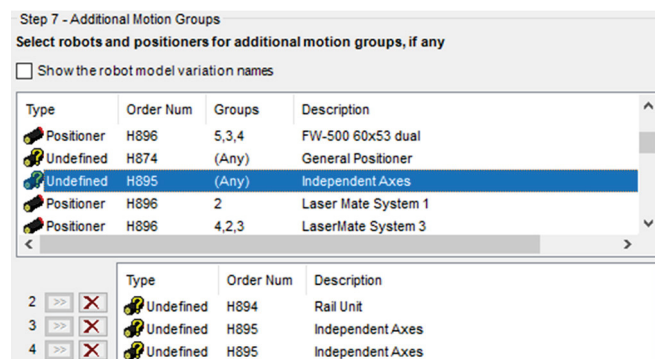
Model kompletnego stanowiska otrzymany po złożeniu ze sobą modeli geometrycznych poszczególnych podzespołów oraz dodaniu ogrodzenia oddzielającego pracowników od strefy, w której odbywa się obróbka detali, przedstawiono na rys. 9.



Rysunek 9. Model geometryczny zaprojektowanego stanowiska do laserowego cięcia 3D

4. Opracowanie modelu symulacyjnego

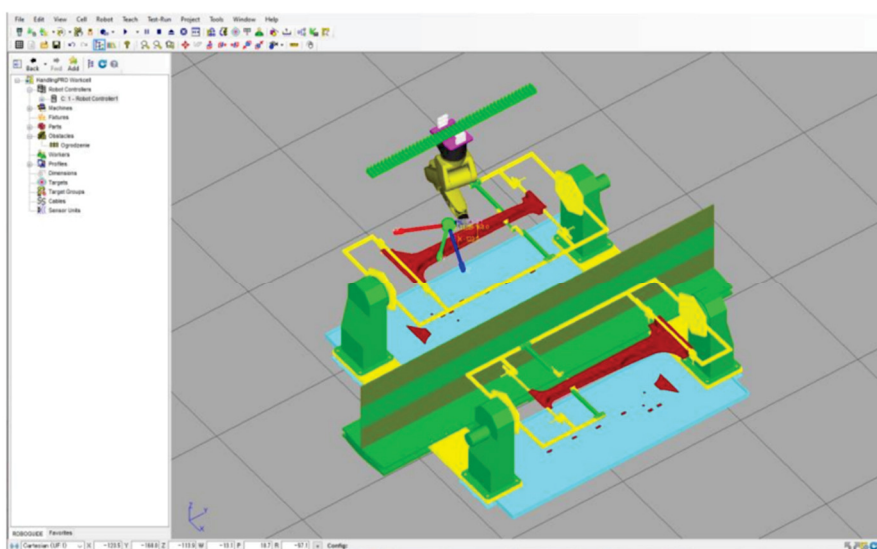
Model symulacyjny stanowiska opracowano w programie Fanuc Roboguide, w oparciu o wcześniej wykonane modele geometryczne. Przygotowanie modelu symulacyjnego rozpoczęto od wyboru modelu robota, po czym, jeszcze na etapie konfigurowania parametrów stanowiska, dodano oraz aktywowano (opcja: Extended Axis Control), tzw. grupy ruchu (rys. 10).



Rysunek 10. Dodawanie grup ruchu i przyporządkowanie im serwowatorów

Każdej z grup ruchu przyporządkowano następnie serwomotor, po czym każdy z serwomotorów skonfigurowano, dostosowując parametry pracy do zakładanych warunków użytkowania. W kolejnym kroku z poszczególnymi grupami ruchu skojarzono modele geometryczne elementów stanowiska zawierających poprzednio skonfigurowane serwomotory, tj. odpowiednio modele toru jezdnego, pozycjonerów oraz stołu obrotowego.

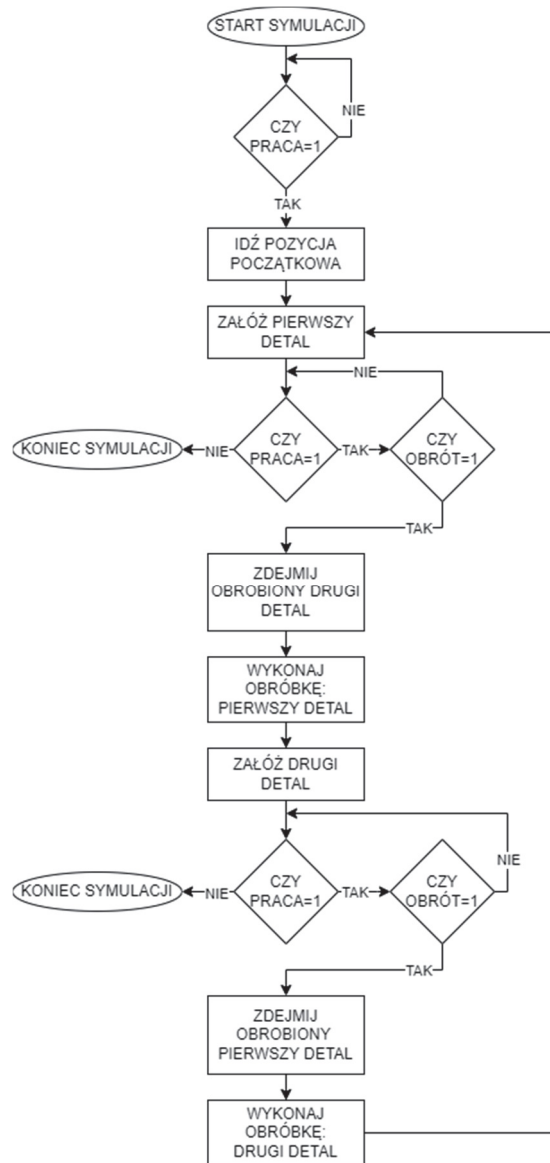
Po uzupełnieniu modelu symulacyjnego o zaimportowane z programu Autodesk Inventor modele geometryczne pozostałych elementów projektowanego stanowiska (rys. 11), przystąpiono do opracowania programów sterujących dla robota oraz urządzeń.



Rysunek 11. Model symulacyjny stanowiska do laserowego cięcia 3D

Dla każdego z detali przeznaczonych do obróbki edycję programów realizowano zarówno przy użyciu zaimplementowanego w oprogramowaniu Fanuc Roboguide trybu symulacji, jak i przy użyciu wirtualnego odpowiednika rzeczywistego programatora ręcznego (ang. Teach Pendant). Przyjęto modułową strukturę programów sterujących, w ramach której każdemu z zadań realizowanych na stanowisku przyporządkowano dedykowany mu podprogram. Do wcześniej przygotowanych podprogramów odwoływano się z poziomu programu głównego, którego schemat blokowy przedstawiono na rys. 12.

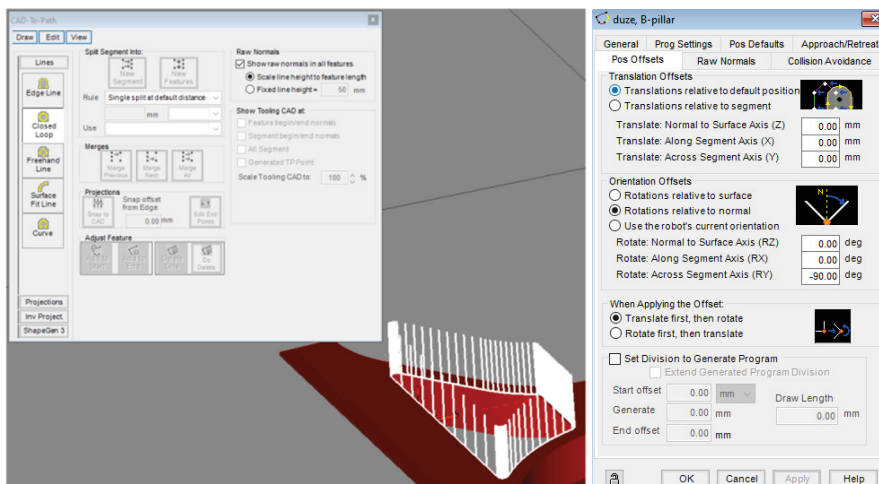
Aby uzyskać wymagany kształt wycięć w detalach ukształtowanych przestrzennie, a także zapewnić prawidłowe ustawienie i prowadzenie głowicy tnącej względem powierzchni obrabianego detalu, do generowania trajektorii ruchu oraz pozycjonowania głowicy tnącej użyto narzędzia „CAD-to-Path”. Narzędzie "Cad-to-Path" generuje program dla robota na podstawie geometrii modelu obrabianego detalu. Wymaga ono zaznaczenia na powierzchni detalu krawędzi cięcia, a także zdefiniowania, w jaki sposób głowica tnąca ma być ustawiona względem jego powierzchni (rys. 13).



Rysunek 12. Schemat blokowy programu głównego symulacji

Z programu głównego ma miejsce wywoływanie programów obróbki pierwszego oraz drugiego detalu. Są to programy pośrednie, z których wywoływane są podprogramy zawierające ścieżki cięcia wygenerowane przez narzędzie „CAD-to-Path”. Każdy podprogram zawierający ścieżkę posiada również polecenia włączenia i wyłączenia lasera, co zostało zrealizowane za pomocą poleceń „Pickup” oraz „Drop” dostępnych w symulacji. Programy pośrednie poza wywoływaniem podprogramów ścieżek posiadają również polecenia ruchu robota, których zadaniem

jest umieszczenie manipulatora w odpowiedniej pozycji przed przystąpieniem do wykonania cięcia laserowego czyli podprogramu ścieżki.



Rysunek 13. Zastosowanie narzędzia „CAD-to-Path” do wskazania krawędzi cięcia oraz zdefiniowania ustawienia głowicy tnącej względem powierzchni detalu

Poza zaprogramowaniem ścieżki po której porusza się robot, przygotowano również program kontrolujący pracę robota, który umożliwia odpowiadanie na polecenia o rozpoczęciu, zakończeniu pracy, jak również o stanie procesu wymiany detalu, dzięki czemu stół obrotowy nie obróci się, jeżeli robot skończy pracę z detalem, a następny detal nie będzie jeszcze przygotowany do obróbki. Funkcjonalność ta jest dostępna za pośrednictwem wejść cyfrowych jakie posiada robot. Program czeka na odpowiedni sygnał lub podejmuje decyzje na podstawie aktualnego stanu procesu, co zrealizowano za pomocą polecenia warunkowego „IF” oraz polecenia skoku do etykiety „JMP LBL”.

5. Opis działania stanowiska – przebieg symulacji

Jak przedstawiono na rysunku 12, cykl pracy stanowiska rozpoczyna się od sprawdzenia sygnału zezwalającego na pracę robota. Sygnał ten jest przekazywany na wejście cyfrowe kontrolera robota DI[1] z przełącznika kontroli pracy. Wraz z otrzymaniem wymaganego sygnału następuje ruch robota do pozycji początkowej oraz proces zakładania pierwszego detalu. Po zamocowaniu detalu na ramie powinien nastąpić obrót stołu, w celu umieszczenia detalu w komorze, w której realizowany będzie proces cięcia. Obrót stołu następuje w momencie przekazania sygnału na wejście cyfrowe kontrolera robota DI[2]. Po obrocie stołu rozpoczyna się proces zdejmowania obrobionego drugiego detalu, a następnie obróbka pierwszego detalu. W trakcie obróbki pierwszego detalu, na ramie od strony pracownika zostaje umieszczony kolejny detal. Po ukończeniu obróbki następuje oczekiwanie na wejściu cyfrowym DI[2], na sygnał aktywujący obrót stołu.

Po wykonaniu obrotu stołu zdejmowany jest obrabiony pierwszy detal i rozpoczyna się obróbka drugiego detalu. Po ukończeniu obróbki drugiego detalu ponownie rozpoczyna się proces zakładania detalu, który był oznaczony jako "pierwszy". W ten sposób, tak długo, jak sygnał pracy na wejściu DI[1] będzie miał wartość 1, stanowisko będzie pracować w pętli.

W symulacji pierwszy detal jest zdejmowany oraz zakładany odpowiednio przed i po procesie obróbki drugiego detalu, z kolei drugi detal jest zdejmowany oraz zakładany odpowiednio przed i po procesie obróbki pierwszego detalu. Jest to rozwiązanie zastosowane w symulacji. Na rzeczywistym stanowisku proces zdejmowania i zakładania detali obsługuje operator i jest on przeprowadzany równolegle z obróbką kolejnego detalu.

6. Podsumowanie i wnioski

W pracy przedstawiono projekt koncepcyjny zrobotyzowanego stanowiska do laserowego cięcia przestrzennego. Modele geometryczne elementów stanowiska wykonano w programie Autodesk Inventor. Na podstawie modeli geometrycznych w programie Fanuc Roboguide opracowano model symulacyjny, w którym do sterowania pozycjonowaniem elementów użyto tzw. grup ruchu, natomiast do sterowania ruchem głowicy tnącej zastosowano narzędzie „Cad-To-Path”, generujące program dla robota na podstawie geometrii obrabianego detalu. Poprawność opracowanych programów, sterujących pracą robota oraz urządzeń pomocniczych, sprawdzono w trakcie testów symulacyjnych.

W trakcie realizacji pracy stwierdzono, że:

- Zastosowanie stołu dwukomorowego pozwala na ograniczenie zajmowanej przez stanowisko przestrzeni, a ponadto, dzięki zastosowaniu mniejszej liczby pozycjonerów oraz mniejszego stołu niż w wariantcie trójkomorowym, obniża koszty budowy stanowiska.
- W przypadku stanowiska wyposażonego w urządzenie emitujące światło laserowe, zwykłe ogrodzenie ochronne nie jest wystarczające. W jego miejsce należy zastosować ogrodzenie, które będzie w stanie całkowicie zatrzymać promienie lasera.
- Zastosowanie wymiennych elementów montażowych oraz toru jezdnego, do którego zamontowany jest robot, pozwala na obróbkę na stanowisku detali o zróżnicowanych gabarytach. Przystrojenie stanowiska pod inny detal wymaga jedynie wykonania ramy o odpowiedniej szerokości i przestawienia korpusów pozycjonerów tak, aby rama mogła się między nimi zmieścić. Stanowisko umożliwia również zastosowanie ram uniwersalnych przeznaczonych do obróbki wielu rodzajów detali.
- Symulacja działania stanowiska pozwala na wykrycie ewentualnych kolizji, jakie mogłyby wystąpić podczas realizacji procesu produkcyjnego. Umożliwia także oszacowanie czasu wykonania jednego cyklu programu.
- Dostęp do wejść i wyjść cyfrowych kontrolera robota znacznie poszerza możliwości programowania, pozwalając na kontrolowanie działania stanowiska poprzez panele operatorskie. Wejścia i wyjścia, w które wyposażony jest kontroler robota, pozwalają na komunikację ze stanowiskiem oraz ułatwiają

proces programowania, umożliwiając wykorzystanie informacji jakie przesyła operator do stanowiska.

- Narzędzie „CAD-to-Path” pozwoliło na znaczne skrócenie czasu potrzebnego na przygotowanie programu sterującego ruchem głowicy tnącej. Niestety, wykorzystanie tego narzędzia nie obyło się bez problemów. W wyniku błędu oprogramowanie niepoprawnie wyliczało współrzędne punktów, powodując błąd ruchu podczas wykonywania programu. Odpowiednie pozycjonowanie głowicy tnącej przed przystąpieniem do generowania ścieżki okazało się być niezbędne, aby wyeliminować błędy związane z niepoprawnymi współrzędnymi.

LITERATURA

1. ZDANOWICZ R.: Robotyzacja procesów wytwarzania, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.
2. KLIMPEL A.: Podstawy teoretyczne cięcia laserowego metali. *Weld. Tech. Rev.*, 6 (2012) 84, 2-7.
3. BARCZYK J., KŁOSOWIAK M.: Robotyzacja cięcia laserowego. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 6 (2005): http://www.par.pl/2005/files/06-05_artykul2p.pdf, 23.08.2021.
4. Laser Systems: <https://kernlasers.com/laser-systems/>, 23.08.2021.
5. HANDZLIK P.: Zrobotyzowane stanowisko do laserowego cięcia 3D z automatycznym systemem wymiany detalu: <http://elektroonline.pl/a/7367,Zrobotyzowane-stanowisko-do-laserowego-ciecia-3D-z-automatycznym-systemem-wymiany-detalu,Automatyka>, 23.08.2021.
6. CIECIŃSKA B., KLUZ R.: Obróbka laserowa powierzchni z wykorzystaniem robota przemysłowego. *Technologia i Automatyzacja Montażu*, 3 (2014), 205-208.
7. BLUEMEL S., BASTICK S., STAEHR R., JAESCHKE P., SUTTMANN O., KAIERLE S., OVERMEYER L.: Robot based remote laser cutting of three-dimensional automotive composite parts with thicknesses up to 5mm. *ScienceDirect Procedia CIRP* 74 (2018), 417–420.
8. CHLEBUS E., CHRAPEK K., JODKOWSKI B., MUSIAŁ M., KEROCIŃSKI-WĘGRZYN W.: Sterowanie adaptacyjne robota przemysłowego wyposażonego w głowicę laserową. *Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji*, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2012, 343-354.
9. KACZMAREK W., PANASIUK J., TOMASZUK M.: Komputerowe wspomaganie tworzenia zrobotyzowanych aplikacji cięcia laserem, *Mechanik*, 7 (2015), 377-384.
10. Laser cutting robot - Project 2015: <https://www.youtube.com/watch?v=DFqBoCP8D0w>, 19.08.2020.
11. Wycinarki laserowe 3D: https://www.trumpf.com/pl_PL/produkty/maszyny-systemy/wycinarki-laserowe-3d/trulaser-cell-8030/, 26.07.2021.
12. 5 Axis Laser Cutting Machine with 3D Robotic Arm: <https://www.stylecnc.com/cnc-laser-videos/5-axis-laser-cutting-machine-3d-robotic-arm.html>, 19.08.2020.
13. JAUREGUI C., LIMPET J., TUNNERMANN A.: High-power fibre lasers. *Nature photonics*, 7 (2013), 861-867.