

Dr inż. Wojciech KACZMAREK
Dr inż. Jarosław PANASIUK
Inż. Michał TOMASZUK
Wojskowa Akademia Techniczna

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.251

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE TWORZENIA ZROBOTYZOWANYCH APLIKACJI CIĘCIA LASEREM

Streszczenie: W artykule przedstawiono problemy związane z tworzeniem aplikacji cięcia laserem z wykorzystaniem środowisk do programowania robotów w trybie offline. W środowisku RobotStudio opracowano projekt stanowiska do docinania rur oraz zaproponowano panel operatora, który pozwala na dokonywanie zmian podczas realizacji procesu.

COMPUTER-AIDED CREATING ROBOTIC LASER CUTTING APPLICATIONS

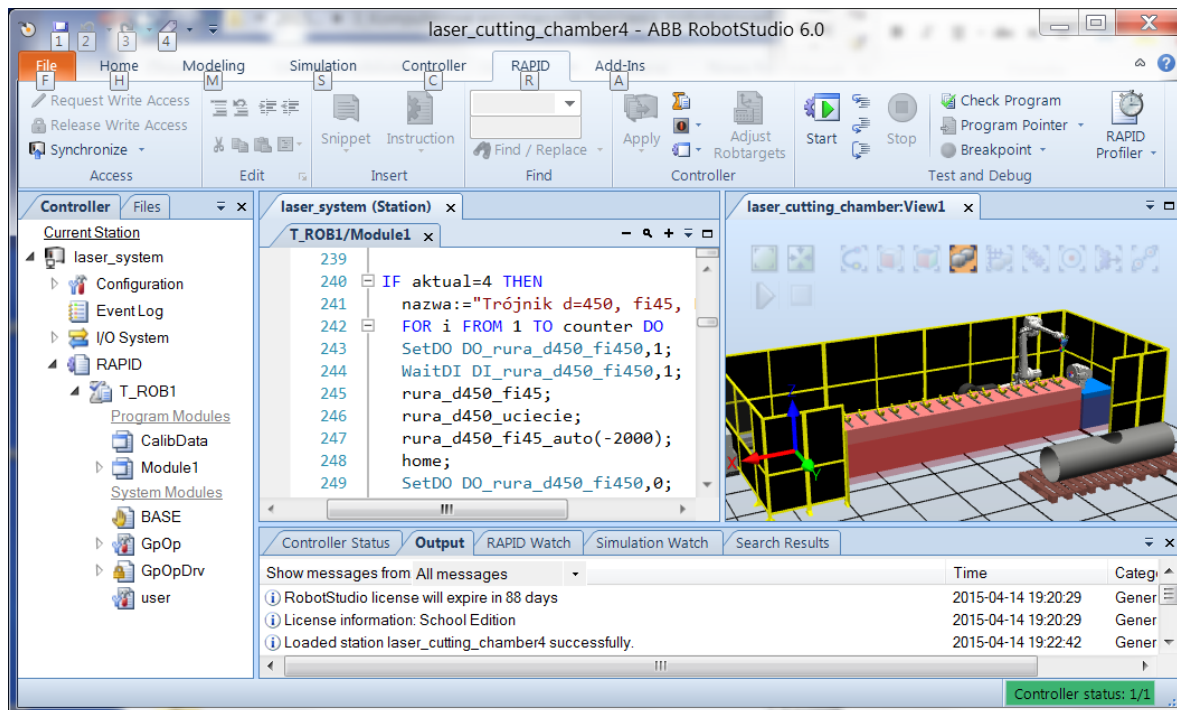
Abstract: This paper describes the process of designing application for automated laser cutting station. In RobotStudio, a design of robotic cell for cutting tubes was done. The authors proposed operator panel (HMI) that allows you to make changes during the process.

Słowa kluczowe: laser, robotyka, roboty przemysłowe
Keywords: laser, robotics, industrial robots, education program

1. WPROWADZENIE

Komputerowe wspomaganie na trwałe znalazło zastosowanie w procesach robotyzacji i automatyzacji. Tendencja robotyzacji przemysłu jest widoczna na całym świecie, co wymusza poszukiwanie nowych rozwiązań wspomagających proces projektowania. Z pomocą w usprawnieniu pracy z robotami przychodzą środowiska do programowania robotów przemysłowych oraz symulowania pracy zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych. Powstanie tego typu oprogramowania wymusiły takie sytuacje, jak: projektowanie nowych fabryk, zmiana parametrów produkcji, jak również czas związany z uruchomieniem linii produkcyjnej w sposób tradycyjny. Uruchomienie linii przy programowaniu robotów za pomocą paneli operatorskich wymaga dużego nakładu czasu, co w zakładach produkcyjnych powoduje przestoje wiążące się ze stratami finansowymi. Obecnie niemal wszyscy producenci robotów oferują własne środowiska do programowania robotów w trybie offline (rys. 1), a dynamiczny rozwój komputerów w ostatnich latach umożliwia pełne ich wykorzystanie. Wspomniane środowiska do wspomagania pracy z robotami przemysłowymi oferują nie tylko programowanie urządzeń w trybie offline, ale także umożliwiają zaprojektowanie całej linii produkcyjnej, przeprowadzenie pełnej symulacji 3D automatyzowanego procesu oraz zaprojektowanie aplikacji do obsługi procesu. Możliwości, jakie oferują te środowiska, bardzo dobrze sprawdzają się zarówno w pracy koncepcyjnej, jak i w testach fizycznych robotów.

Dużą zaletą w projektowaniu offline jest możliwość zestawienia stacji, określenie zasięgów robota wraz z narzędziem oraz określenie rzeczywistego czasu cyklu pracy. Umożliwia to już na etapie koncepcyjnym optymalizację stanowiska. Środowiska tego typu oferują również pracę z rzeczywistym kontrolerem, co znacznie przyspiesza pracę dzięki możliwości programowania rzeczywistego robota z poziomu komputera [3, 4].



Rys. 1. Ogólny widok okna środowiska RobotStudio. Źródło własne

W związku z tym można śmiało powiedzieć, że środowiska do programowania robotów w trybie offline znajdują dzisiaj powszechne zastosowanie w firmach integratorskich, fabrykach oraz placówkach kształcenia.

2. TECHNOLOGIA CIĘCIA LASEREM NA ZAUTOMATYZOWANYCH LINIACH PRODUKCYJNYCH

Promieniowanie laserowe uznawane jest za jeden z najważniejszych wynalazków czasów nowożytnych. Nazwa urządzenia technicznego „laser” pochodzi od pierwszych liter terminu angielskiego: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, co oznacza: wzmocnienie światła przez wymuszoną emisję promieniowania [1, 6, 7]. Światło laserowe cechuje się dużą spójnością w czasie i przestrzeni, natomiast promieniowanie wyjściowe lasera cechuje bardzo wąska linia widmowa. W związku z tym duża koncentracja fotonów daje dużą moc promieniowania. Dzięki swoim właściwościom światło laserowe znalazło zastosowanie w procesach cięcia, przebijania, spawania, napawania, stopowania lub też obróbki cieplnej [10].

W niniejszym artykule skupiono się na procesie cięcia laserem. Cięcie laserowe jest to sposób dzielenia materiałów z wykorzystaniem zogniskowanej wiązki lasera. Najważniejsze wymagania stawiane technologii cięcia to: jakość ciętych krawędzi, jak najmniejszy wpływ cieplny na cięty przedmiot, wąska szczelina cięcia oraz jak najmniejsze zużycie energii. W procesie robotyzacji wiązka laserowa dostarczana jest na powierzchnię obrabianego

przedmiotu za pomocą światłowodu do głowicy laserowej umieszczonej na ostatniej osi robota przemysłowego [8].



Rys. 2. Stanowisko do cięcia laserem w Laboratorium Robotyki Wydziału Mechatroniki i Lotnictwa Wojskowej Akademii Technicznej (po lewej), głowica (po prawej).

Źródło własne

Technologia laserowa znalazła zastosowanie w cięciu większości materiałów inżynierskich: metali, cermetali, materiałów ceramicznych, tworzyw sztucznych, tkanin, diamentów, a nawet drewna. Postęp w technologii laserowej, urządzeń zrobotyzowanych oraz układach CNC sprawił, że proces ten jest jedną z podstawowych technik cięcia gwarantujących wysoką dokładność i jakość ciętych krawędzi o wąskiej strefie wpływu ciepła. Jednakże proces cięcia laserowego posiada również ograniczenia, głównie: grubość ciętych elementów nie przekracza 25 mm oraz specjalne wymagania co do stanu powierzchni, właściwości fizycznych i składu chemicznego ciętych materiałów. Do wad można zaliczyć: wysoki koszt stanowiska oraz niebezpieczne promieniowanie elektromagnetyczne.

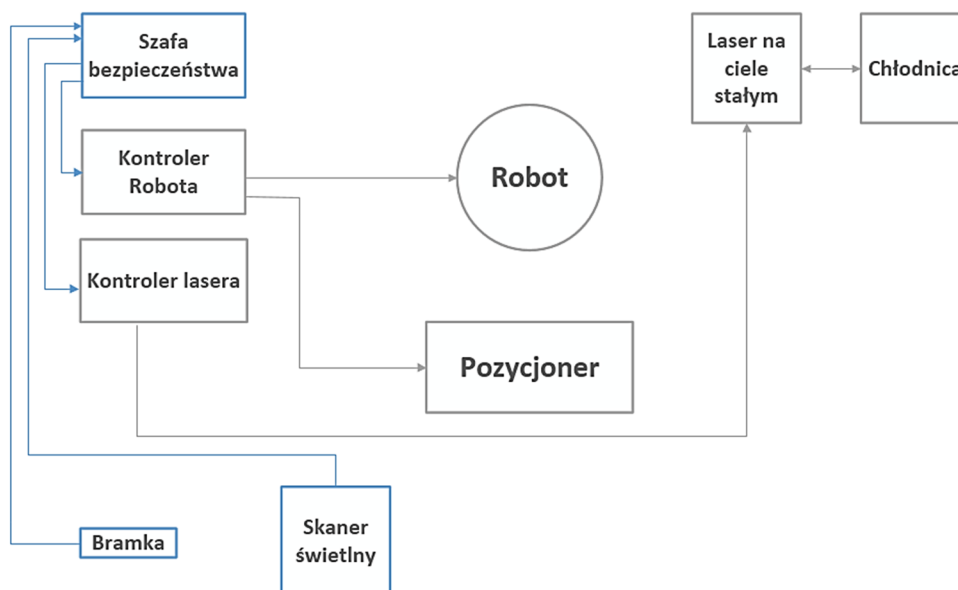
Wymagania dla robota w aplikacjach cięcia laserowego

Podczas procesu cięcia głowica laserowa przemieszcza się wzdłuż toru cięcia z prędkością zależną od właściwości fizycznych ciętego materiału, energii wiązki laserowej oraz ciśnienia gazu towarzyszącego usuwającego ciekły odparowany materiał ze szczeliny cięcia. W związku z masą głowic dochodzącą do 20 kg, proces wymaga zastosowania robota o właściwym udźwigu. Ważnym również parametrem w procesie cięcia jest powtarzalność pozycjonowania głowicy na poziomie poniżej 0,1 mm. Obecnie oferowane manipulatory posiadają powtarzalność na rzędu 0,05 mm, co nie jest wygórowanym parametrem do spełnienia w procesie robotyzacji.

Niezwykle istotnym zagadnieniem w procesie automatycznego cięcia laserem jest bezpieczeństwo w komorze produkcyjnej. Stanowiska wyposażone w promieniowanie laserowe mogą wywołać katastrofalne skutki podczas kontaktu z tkanką biologiczną. W związku z tym już na etapie projektowania należy zdefiniować działania mające na celu zredukowanie prawdopodobieństwa nastąpienia oraz oszacowanie wielkości szkód. Bezpieczeństwo na stanowisku jest realizowane poprzez dobór urządzeń i rozwiązań technicznych, które będą stwarzały jak najmniej zagrożeń, a także poprzez właściwe przeszkolenie personelu. W celu zapewnienia bezpieczeństwa, stanowiska produkcyjne są wyposażane w standardowe środki bezpieczeństwa, m.in.:

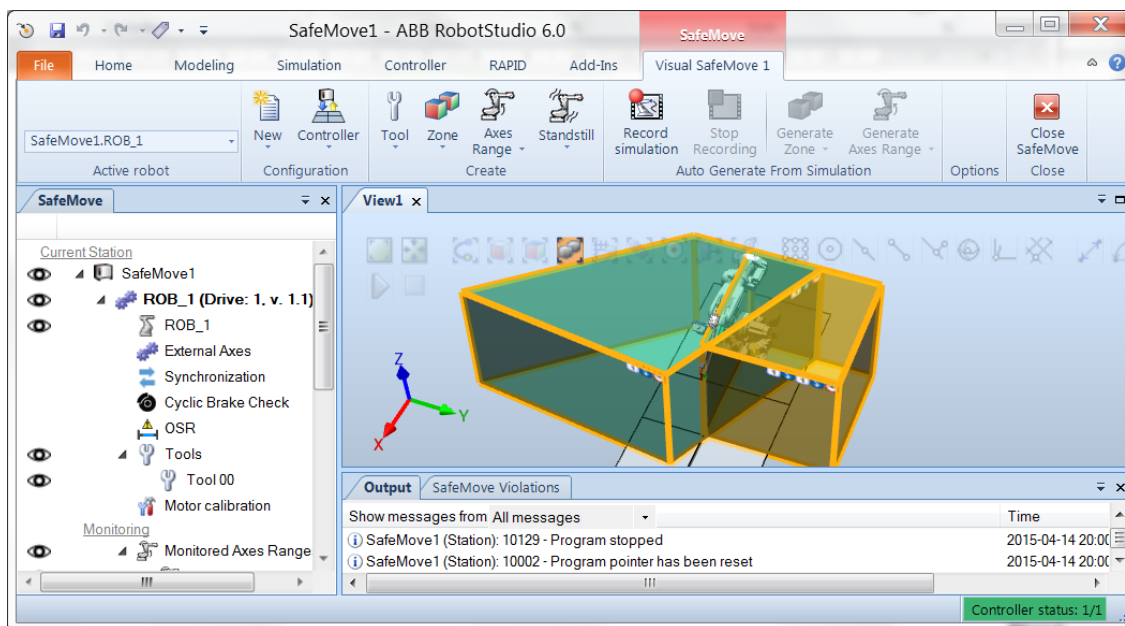
- ogrodzenie,
- kurtyny świetlne,
- kolumny sygnalizujące stan pracy stanowiska,

- pulpit operatora umożliwiający monitorowanie parametrów procesu wraz z przyciskiem bezpieczeństwa,
- bramki z zamkami elektromagnetycznymi,
- okulary ochronne.



Rys. 3. Schemat blokowy zrobotyzowanego stanowiska do cięcia laserem. Źródło własne

Dodatkowo, w systemach robotów instalowane są programowe systemy bezpieczeństwa (np.: SafeMove firmy ABB – rys. 4, DCS – Dual Check Safety firmy Fanuc, Safe Motion firmy Comau). Systemy te umożliwiają pełne monitorowanie parametrów robota, stanu pracy stanowiska, jak również zewnętrznych sygnałów bezpieczeństwa. Kontrola takich parametrów, jak obszar pracy robota, pozycja osi, prędkość i orientacja narzędzia, pozwala na wprowadzenie ograniczeń, co skutkuje automatycznym zatrzymaniem robota z zachowaniem pełnych zasad bezpieczeństwa zgodnych z obowiązującymi normami w przypadku naruszenia zdefiniowanych granic.



Rys. 4. Ogólny widok okna RobotStudio (zakładka SafeMove) ze zdefiniowanymi strefami bezpieczeństwa. Źródło własne

3. PROJEKT ZROBOTYZOWANEGO STANOWISKA DOCINANIA RUR POLIETYLENOWYCH LASEREM

W ramach projektu opracowano zrobotyzowaną stację do docinania rur polietylenowych o dużej gęstości PE-HD (ang. *polyethylene high-density*), które z powodzeniem są wykorzystywane w budownictwie (m.in.: budowa sieci wodnych, kanalizacyjnych, gazowych, a nawet jako rury osłonowe w sieciach komunikacyjnych). Rury polietylenowe charakteryzują się długim okresem eksploatacji ze względu na odporność na korozję, działanie bakterii, grzybów i gryzoni oraz większości związków chemicznych. Ponadto, charakteryzuje je mała masa w stosunku do rur stalowych lub żeliwnych oraz gładka powierzchnia wewnętrzna, która umożliwia transport cieczy przy minimalnych oporach przepływu oraz utrudnia osadzanie się kamienia.

Na potrzeby symulacji komputerowej procesu cięcia laserem w środowisku Solid Edge zostały zaprojektowane wybrane modele 3D rur. Spośród oferty firmy Szargu Sp. z o.o. (zajmującej się systemami kanalizacyjnymi i gazowymi) wybrano: trójkąt równoprzelotowy 45°/60°/90°, trójkąt redukcyjny oraz czwórnik redukcyjny. Zestawienie wybranych konfiguracji zaprojektowanych w środowisku Solid Edge przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wykorzystane konfiguracje układów rur w symulacji komputerowej

Nazwa	Średnica D [mm]	Długość L [mm]	Kąt odgałęzienia [°]	Grubość ścianki S [mm]
Trójkąt równoprzelotowy	200	680	45	6,9
Trójkąt równoprzelotowy	200	680	90	6,9
Odgałęzienie	200	680	90	6,9
Trójkąt równoprzelotowy	450	2000	45	11,7
Trójkąt równoprzelotowy	450	2000	60	11,7
Trójkąt równoprzelotowy	450	1490	90	11,7
Trójkąt redukcyjny	710/500	2810	90	21,9
Czwórnik redukcyjny	710/500	2810	90	21,9

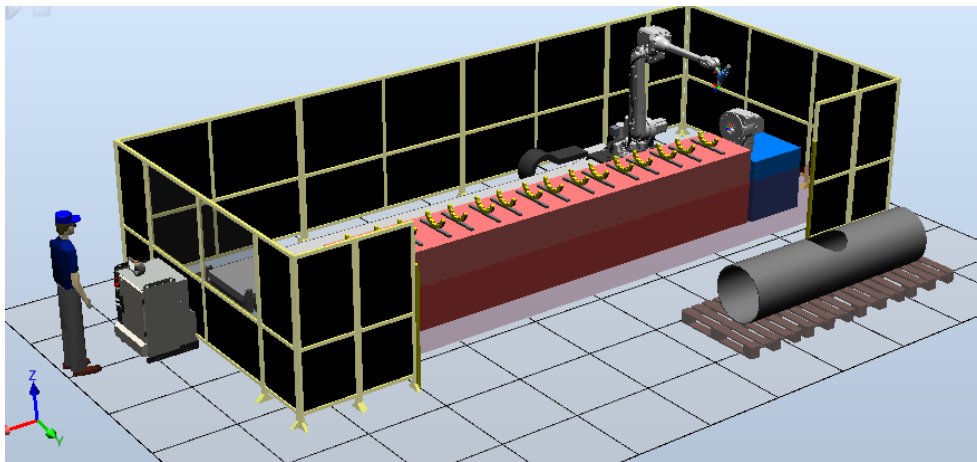
Założenia projektowe:

- Procesowe:
 - prędkość cięcia 35 [mm/s],
 - rodzaj i moc lasera: laser włóknowy na ciele stałym o mocy 2 kW,
 - dokładność ciętych krawędzi $\pm 0,1$ mm.
- Stanowiska produkcyjnego oraz aplikacji sterującej:
 - zapewnienie dostępu robota na całość powierzchni obrabianej rury,
 - dostosowanie komory produkcyjnej do obróbki rur PEHD o długości 6 m,
 - kalibracja, ustawienie i połączenie wszystkich elementów stanowiska,
 - dokładne mocowanie rury w celu zapewnienia wysokiej dokładności i jakości ciętych krawędzi,
 - intuicyjny, łatwy w obsłudze interfejs aplikacji.

- Bezpieczeństwa:
 - zabezpieczenie personelu przed działaniem wiązki lasera – kurtyna bezpieczeństwa, zabudowa komory pochłaniająca promieniowanie laserowe,
 - awaryjne przerwanie procesu – awaryjny wyłącznik STOP,
 - wyłącznik główny na szafie sterującej,
 - sygnalizacja załączenia i zatrzymania procesu,
 - okulary ochronne.

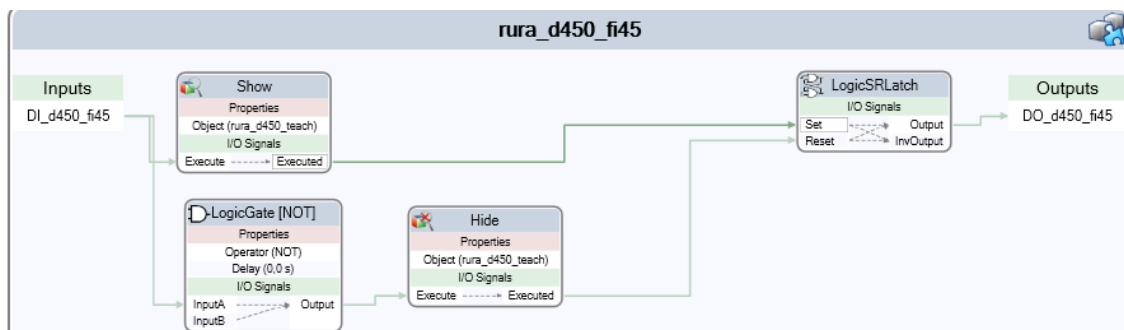
Realizacja projektu

Projekt zrealizowano w dużej mierze w oparciu o sprzęt i oprogramowanie firmy ABB. W skład stanowiska weszły m.in.: robot IRB 4600 posadowiony na torze jezdny IRBT 4004, oraz obrotnik MTD 500. Projekt stanowiska wykonano w środowisku RobotStudio, skupiając się głównie na wygenerowaniu trajektorii ruchu robota oraz opracowaniu interfejsu operatora [9].



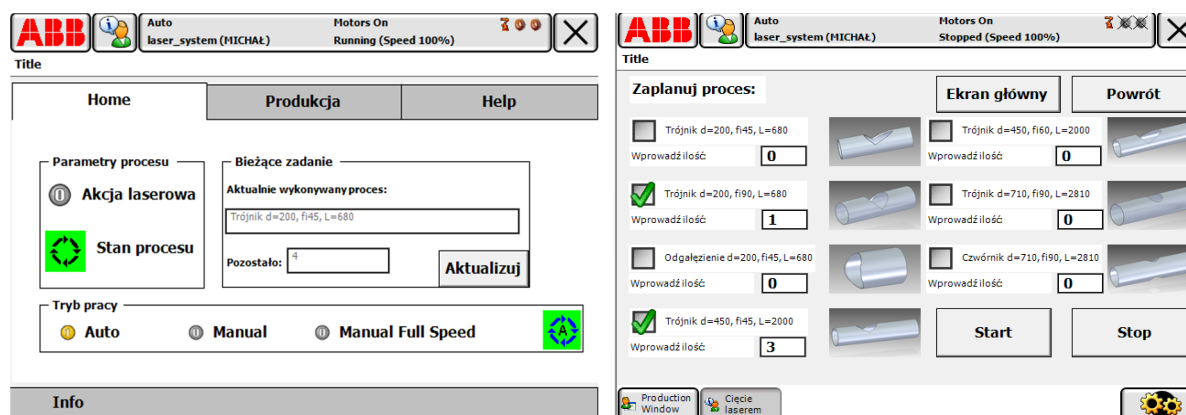
Rys. 5. Ogólny widok stanowiska do docinania rur. Źródło własne

Realizacja projektu była możliwa dzięki opracowaniu w środowisku Solid Edge wszystkich niezbędnych komponentów graficznych (rur, mocowań itp.), które zaimportowano do RobotStudio. Na potrzeby symulacji komputerowej opracowano dynamiczne obiekty (SmartComponenty) umożliwiające zasymulowanie ruchu oraz przepływu sygnałów sterujących (rys. 6).



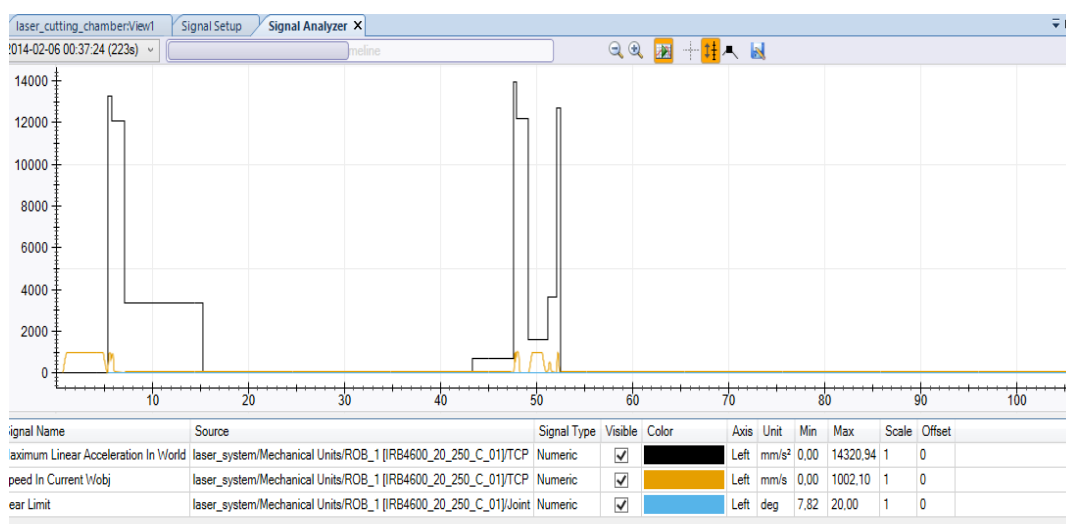
Rys. 6. SmartComponent – rura_d450_fi45. Źródło własne

Ostatnim elementem było opracowanie programu w języku RAPID [2] oraz panelu operatora, który umożliwia półautomatyczny wybór procesu cięcia danego typu rur (rys. 7).



Rys. 7. Widoki wybranych ekranów zaproponowanego panelu operatora. Źródło własne

Podczas prowadzenia testów uruchomieniowych, do optymalizacji aplikacji procesowej wykorzystano narzędzie Signal Analyzer (rys. 8). Narzędzie to umożliwia podgląd m.in. takich sygnałów, jak: przyspieszenie liniowe, prędkość, zapas limitu do konfiguracji osobliwych, a także pobór mocy oraz sygnałów sterujących. Funkcja okazuje się wyjątkowo przydatna, kiedy ważne jest określenie cykli pracy, wysokiej precyzji oraz wydajności procesu.



Rys. 8. Ogólny widok okna Signal Analyzer. Źródło własne

4. PODSUMOWANIE

Środowiska do programowania robotów przemysłowych w trybie offline znacznie ułatwiają proces projektowania i uruchamiania zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych. Pozwalają one nie tylko na zestawienie stanowiska, ale również wspierają tworzenie oprogramowania oraz dzięki możliwości prowadzenia symulacji komputerowych optymalizacji ich funkcjonowania. W przedstawionym w niniejszym artykule przykładzie widać, że są one znakomitym narzędziem do tworzenia paneli operatorskich do monitorowania procesów (w przypadku pełnej ich automatyzacji), ale również paneli do stanowisk półautomatycznych, gdzie operator (posiadający stosowny poziom autoryzacji) ma możliwość wprowadzania zmian konfiguracji procesu technologicznego. Podczas prowadzenia testów pracy stanowiska dokonano analizy wybranych parametrów procesu za pomocą funkcji Signal Analyzer. Na podstawie przeprowadzonej analizy, przy prędkości w pozycji cięcia wynoszącej 40 mm/s,

oszacowany czas wykonania dwóch rur przelotowych dla trójnika redukcyjnego o średnicy $d = 710$ [mm] wyniósł 232 [s].

LITERATURA

- [1] Dubik A.: *1000 słów o laserach i promieniowaniu laserowym*, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa 1989.
- [2] Introduction to RAPID – Operating Manual, Rev. A, ABB.
- [3] Kaczmarek W.: *Elementy Robotyki Przemysłowej*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2008.
- [4] Kaczmarek W., Panasiuk J.: *Środowiska do programowania robotów przemysłowych w trybie offline/online*, Control Engineering, Dodatek specjalny marzec/kwiecień 2015, s.100-109.
- [5] Kaczmarek W., Panasiuk J.: *Systemy bezpieczeństwa na stanowiskach zrobotyzowanych*, Control Engineering, Dodatek „Bezpieczeństwo” sierpień 2014, s. 6-14.
- [6] Klimpel A.: *Technologie laserowe: spawanie, napawanie, stopowanie, obróbka cieplna i cięcie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012
- [7] Kusiński J.: *Lasery i ich zastosowanie w inżynierii materiałowej*, Wydawnictwo Naukowe „Akapit”, Kraków 2000.
- [8] Panasiuk J., Kaczmarek W.: *Zrobotyzowane procesy cięcia i spawania laserowego*, Control Engineering, nr 3(107), maj/czerwiec 2014, s.108-114.
- [9] *RobotStudio – Operating Manual*, Rev. A, ABB.
- [10] Wandera C., Kujanpää: *Fiber laser gaining importance in sheet metal processing applications*. Coherent., Industrial Laser Solutions for Manufacturing, 09/01/2013.