

Dr inż. Wojciech KACZMAREK
Dr inż. Jarosław PANASIUK
Inż. Łukasz MINDA
Wojskowa Akademia Techniczna

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.250

PROJEKT INTERFEJSU OPERATORA DLA ZROBOTYZOWANEGO PROCESU SPAWANIA

Streszczenie: W artykule przedstawiono projekt interfejsu operatora dla zrobotyzowanego procesu spawania noży kosiarki bębnowej KR 400 firmy FLORA. Autorzy przedstawili możliwości wykorzystania środowiska RobotStudio i pakietów ScreenMaker, ArcWelding PowerPac oraz VirtualArc do projektowania zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych z wykorzystaniem robotów firmy ABB.

DESIGN OF THE OPERATOR INTERFACE FOR ROBOTIC ARC WELDING PROCESS

Abstract: The article presented the project of the operator interface of robotic welding cell for drum mower blades KR 400 from FLORA. The authors presented the possibility of using RobotStudio environment and ScreenMaker package, and VirtualArc package and ArcWelding PowerPac package for designing robotic cells with ABB robots.

Słowa kluczowe: spawanie, robotyka, roboty przemysłowe, RobotStudio
Keywords: welding, robotics, industrial robots, RobotStudio

1. WPROWADZENIE

Obecna koniunktura na rynkach gospodarczych wymusza na producentach redukcję kosztów produkcji i utrzymania ruchu ze względu na dużą konkurencję zarówno lokalną, jak i międzynarodową. Popularny jest slogan „dużo, tanio, szybko i w dobrej jakości”. Sprzyja temu ciągle rozwijająca się branża automatyki i robotyki, która swe korzenie nieodzownie wiąże z szeroko pojętą motoryzacją. To właśnie firma General Motors jako pierwsza w historii wykorzystwała robota Unimate na swych liniach produkcyjnych. Roboty w przeciwieństwie do człowieka mogą pracować ciągle, a ryzyko występowania ewentualnych przestoju w wymagających aplikacjach, takich jak przemysł farmaceutyczny, czy spożywczy jest znikome. Niestraszne są im skomplikowane procesy klejenia, paletyzacji, czy precyzyjnego składania. Największy udział w rynku mają aplikacje wspomagające łączenie, m.in. spawanie [1].

Nie tylko trudne warunki pracy, ale też chęć dostępu do wszelkiej maści danych wymusiły powstanie urządzeń do monitoringu procesów. W celu wizualizacji parametrów technologicznych, sterowania urządzeniami oraz obiektami przemysłowymi wykorzystuje się panele operatorskie. Często nazwa ta zastępowana jest skrótem HMI (ang. *Human Machine Interface* – Interfejs Człowiek Maszyna) odnoszącym się również do systemów pośredniczących pomiędzy ludźmi a maszynami i procesami przemysłowymi.

Komunikacja operator – maszyna jest możliwa dzięki układom wejściowym oraz wyjściowym. Pierwsze z nich odpowiadają za możliwość ingerencji użytkownika w działanie bieżącego systemu, zaś drugie wizualizują bieżące informacje dotyczące m.in. stanu maszyny w postaci danych liczbowych, wykresów bądź komunikatów słownych, jak również ich przekazywanie do zewnętrznych systemów informatycznych.

Dostępne na rynku panele operatorskie są względem siebie bardzo zróżnicowane i obejmują zakres od pojedynczych przycisków, przez całe klawiatury i skomplikowane wyświetlacze programowalne po pulpity sterujące.

Podstawowym elementem każdego HMI jest obecnie wyświetlacz LCD z matrycą aktywną mający zakres od kilku do ponad 16 milionów kolorów. W wyświetlaczach tego rodzaju najczęściej stosuje się matryce rezystancyjne oraz pojemnościowe o przekątnej w zakresie od kilku do ponad 20 cali. Mimo spadku cen matryc, ciągle pozostają popularne wyświetlacze małe i nierzadko monochromatyczne. Podczas zakupów często poruszonym aspektem jest kontrast oraz jasność matryc. W skład paneli wchodzi również dodatkowo przyciski/klawiatury, moduły dźwiękowe, przełączniki, pokręta, a nawet modemy w celu dostępu do Internetu. W komunikacji wykorzystywane są interfejsy komunikacyjne w postaci RS232/422/485, USB czy Ethernetu. HMI charakteryzują się dodatkowo stosunkowo szerokim spektrum pracy w przedziale temperatury od 30°C do nawet 80°C. Równocześnie kładąc nacisk na stopień ochrony obudowy na poziomie IP66 od frontu panelu [4, 5]. Profesjonalne HMI dzięki swym mnogim funkcjom zastępują podstawowe sterowniki PLC, jednocześnie umożliwiając komunikację po sporej ilości portów z urządzeniami peryferyjnymi.

W robotyce również można spotkać się z panelami operatorskimi pod postacią tzw. Teach Pendantów, które mogą łączyć w sobie funkcję sterowania robotem wraz z wizualizacją procesu technologicznego. Przykładem może tu być FlexPendant firmy ABB. Oprócz podstawowej funkcji w postaci sterowania robotem, umożliwia on wizualizację dowolnie zaprogramowanego procesu produkcyjnego. Dzięki wysokiemu standardowi wykonania jest odporny na czynniki zewnętrzne, takie jak woda, czy pyły. Posiada 8 przycisków funkcyjnych, z czego 4 są dowolnie programowalne, przyciski zatrzymania awaryjnego, „Deadmena” oraz port USB do odczytu i zapisu programów. Wizualizacja procesów jest tworzona w dedykowanym oprogramowaniu o nazwie ScreenMaker dołączanym do programu RobotStudio [8, 10a].

2. PÓLAUTOMATYCZNY PROCES TECHNOLOGICZNY Z WIZUALIZACJĄ KLUCZOWYCH INFORMACJI NA FlexPendancie

Wszystkie procesy technologiczne realizowane w trybie półautomatycznym cechuje fakt wykorzystania pracy człowieka w celu montażu oraz demontażu detali na specjalnie przygotowanych stołach roboczych umieszczonych zazwyczaj na ruchomych pozycjonerach. Po przeciwnej stronie stanowiska znajdują się maszyny umożliwiające realizację wymaganego procesu, gdzie jednocześnie operator stanowiska posiada podgląd kluczowych informacji procesowych na panelu operatorskim w czasie realizacji danego procesu. Stanowiska te odznaczają się również łatwą możliwością przeprogramowania procesu w zależności od produkowanej aktualnie partii produktów.

Zagadnienie to stało się tematem pracy inżynierskiej w Wojskowej Akademii Technicznej w 2014 r. Celem pracy było opracowanie koncepcji interfejsu operatora dla półautomatycznego procesu technologicznego wraz z jego implementacją na FlexPendantzie.

Ze względu na trudne i szkodliwe warunki pracy oraz dużą liczbę zainstalowanych aplikacji na rynku, zdecydowano się przedstawić proces spawania w postaci koncepcji stanowiska do montażu bębna tnącego kosiarki ręcznej. Jako metodę spawania wybrano najbardziej spopularyzowaną wśród spawania metodę MIG/MAG. W celu prawidłowego wykonania spoiny, należy wziąć pod uwagę dużą liczbę parametrów wejściowych mających wpływ na jakość spoiny. Należały do nich:

- prąd spawania,
- napięcie łuku,
- prędkość podawanego drutu spawalniczego,
- długość łuku spawalniczego,
- rodzaj i strumień objętości gazów osłonowych,
- prędkość spawania.

Elementem każdego procesu są zakłócenia, które przy spawaniu mają wielki wpływ na efekt końcowy. Do najczęściej spotykanych zakłóceń zaliczamy:

- złe dopasowanie elementów,
- zanieczyszczenie powierzchni spawanych,
- zmianę długości łuku,
- zanieczyszczenia gazów osłonowych,
- złą jakość materiałów dodatkowych [2, 3, 6].

W ramach przeprowadzonych rozważań zaproponowano interfejs informujący użytkownika o wielu istotnych parametrach. Operator z poziomu FlexPendantsa wie, w jakim aktualnie trybie pracy znajduje się kontroler robota. Sam decyduje o częstotliwości czynności serwisowych w postaci czyszczenia palnika, przycięcia drutu spawalniczego, czy też kalibracji narzędzia. Ma też szybki dostęp do liczby wyprodukowanych elementów na stanowisku roboczym, czy liczby pozostałych noży do ukończenia procesu. Ostatnim elementem informacyjnym jest okno pod nazwą „Proces” umożliwiające podgląd kluczowych informacji związanych z procesem spawania w postaci zadanych wartości prędkości spawania, czasu przedmuchu, prądu oraz napięcia spawania.

Wymagania dla robota w aplikacjach spawania łukowego

Projektując aplikację spawalniczą, należy wziąć pod uwagę wiele aspektów począwszy od zasięgu oraz dopuszczalnego obciążenia robota. Kolejnymi ważnymi aspektami są powtarzalność, dokładność, krótkie cykle pracy oraz stopień ochrony robota. Wybierając robota, należy uwzględnić zakup dodatkowych opcji programowych w postaci pakietów wspomagających i przyspieszających programowanie w postaci np. ArcWelding PowerPack firmy ABB, WeldPro – Fanuc, Arc.Tech – Kuka, czy WeldPRO firmy Kawasaki.

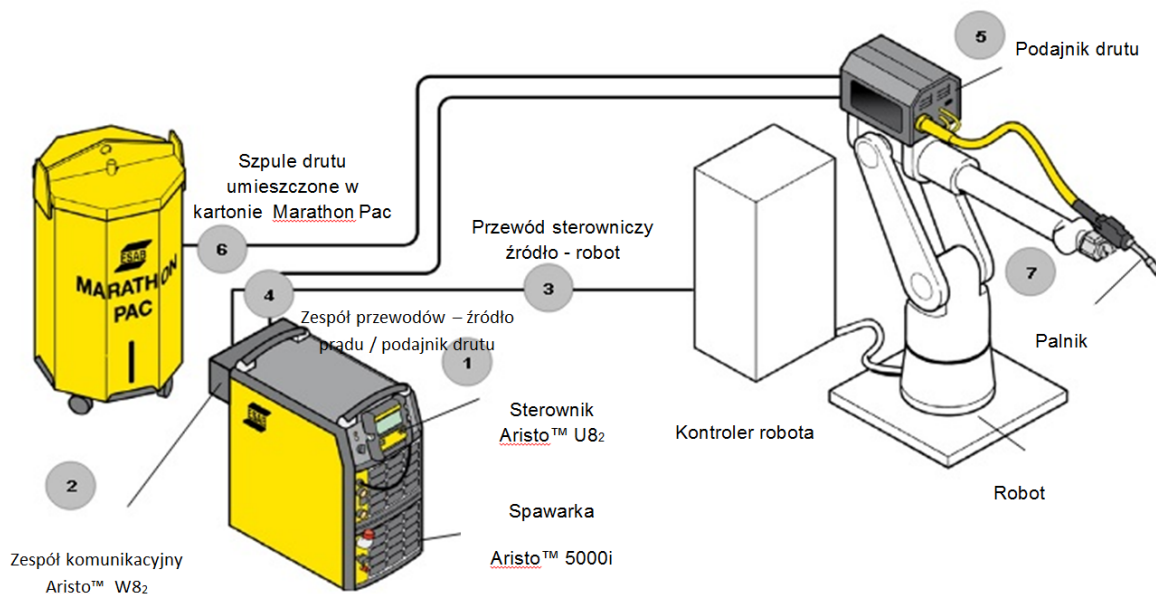
Większość producentów robotów przemysłowych posiada dedykowane roboty i rozwiązania w aplikacjach spawalniczych. Przykładem takich robotów jest seria 100iC firmy Fanuc z odchudzoną 4 osią robota na wiązkę okablowania mediów związanych ze spawaniem przy jednoczesnym zwiększeniu zasięgu robota. Również firma ABB posiada w swej ofercie dedykowane roboty spawalnicze, np. IRB 1600ID, IRB 2600ID. Wszystkie roboty spawalnicze są robotami 6-osioowymi o zasięgu od 0,5 m do ponad 2 m. Jednocześnie ich

udźwig jest stosunkowo niewielki i mieści się w przedziale 1-20 kg. Posiadają przy tym wysoką powtarzalność pozycji zazwyczaj w zakresie 0,02-0,08 mm [10a,10b].

Nieodzownym elementem projektowanego stanowiska jest system bezpieczeństwa, w którego skład wchodzi wiele elementów. Ze względu na charakter procesu (emisję promieniowania ultrafioletowego oraz podczerwonego na człowieka) konieczne jest zastosowanie ogrodzeń zabezpieczających wzrok operatora przed jego uszkodzeniem. Do celi spawalniczej operator może wejść tylko przez drzwi zabezpieczone zamkiem ryglowanym połączonym bezpośrednio z przekaźnikiem bezpieczeństwa. Bariery świetlne oraz maty bezpieczeństwa również zapobiegają urazom w wyniku niepowołanego wtargnięcia w obszar stanowiska. Do sygnalizacji stanu pracy stanowiska można wykorzystać wieże świetlne bądź też samego FlexPendants. W razie wystąpienia niebezpieczeństwa należy bezzwłocznie nacisnąć przycisk zatrzymania awaryjnego. W celu minimalizacji kosztów związanych z wymianą palików doradza się wykorzystanie złącz antykolidacyjnych.

Obecnie dużą popularność zyskują programowe systemy bezpieczeństwa. Takim przykładem są systemy SaveMove firmy ABB, czy DCS firmy Fanuc. Systemy te umożliwiają m.in.: programowe ograniczenie gabarytów celi produkcyjnej. Dzięki temu robot porusza się w ściśle określonej przestrzeni. System SaveMove daje również możliwość monitorowania pozycji i prędkości ramienia robota, dzięki czemu jest możliwe wyznaczenie bezpiecznych stref pracy robota [10a ,10b].

Wielu przedsiębiorców często nie uwzględnia zakupu kompletnych stacji serwisowych w postaci np. urządzenia pod nazwą TSC firmy ABB z racji oszczędności kosztów przyszłego stanowiska. Jest to jednak mylne mniemanie, gdyż czas związany z kalibracją (ustawienie TCP) jest znaczący. Jednocześnie stacje te czyszczą palnik ze zgorzeli i napyłają na jego wewnętrzną warstwę środek adhezyjny [10a]. Mając już wybranego robota spawalniczego oraz dobrane elementy bezpieczeństwa, pozostaje kwestia osprzętu spawalniczego. Przykładem mogą być kompleksowe rozwiązania oferowane przez firmę ESAB, która dostarcza do zrobotyzowanych cel spawarki, sterowniki, zespoły komunikacyjne, podajniki drutu, aż po szpule z drutem spawalniczym. Jest też możliwość wykorzystania kompletnych rozwiązań w postaci gotowych cel spawalniczych. Przykładem mogą być rozwiązania oferowane przez firmę ABB pod nazwą FlexArc występujące w wielu wariantach. Ich główną zaletą jest optymalizacja wydajności i jednoczesna redukcja obszaru pracy [10a].

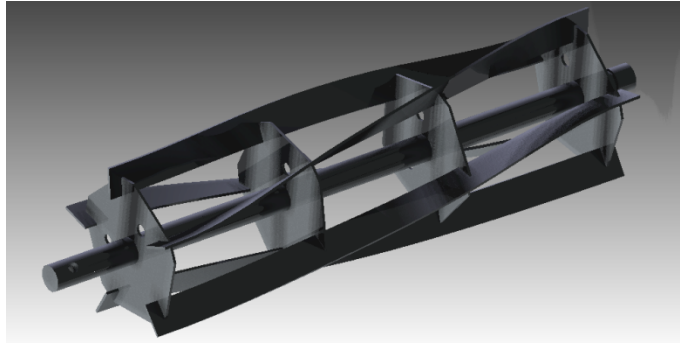


Rys. 1. Zestawienie kompletnego osprzętu spawalniczego firmy ESAB – AristoMig do spawania metodą MIG/MAG w procesie zrobotyzowanym (schemat nie zawiera butli z gazem osłonowym) [10c]

3. TWORZENIE PROJEKTÓW ZROBOTYZOWANYCH STANOWISK DO SPAWANIA W TRYBIE OFFLINE ORAZ PROWADZENIE SYMULACJI KOMPUTEROWYCH

Do realizacji postawionego problemu wybrano oprogramowanie firmy ABB pod nazwą RobotStudio, którego najnowsza wersja znajduje się na wyposażeniu Katedry Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Niezbędnym elementem potrzebnym do wyznaczenia trajektorii przyszłych ruchów robota było zamodelowanie i odwzorowanie spawanych elementów. Do tego celu posłużono się programem Silid Edge ST5 firmy SIEMENS dostępnym w wersji edukacyjnej. Środowisko to łączy w sobie modelowanie parametryczne oraz hybrydowe (bryłowe wraz z powierzchniowym). Dzięki tak rozbudowanej funkcjonalności umożliwia ono projektowanie zarówno pojedynczych zespołów, jak i złożań dokumentacji technicznej 2D, czy analiz wytrzymałościowych.

W celu odwzorowania geometrii zespołu tnącego posłużono się prostymi funkcjami w postaci „wyciągnięcia prostego”, „wyciągnięcia po przekrojach”, czy „wycięcia”. Wynikiem pracy było zamodelowanie całego bębna kosiarki, jak również uchwytów mocujących, czy piedestałów dla robota. Końcowym etapem było zapisanie plików z rozszerzeniem *.sat, dzięki czemu można było je zaimportować do biblioteki komponentów w programie RobotStudio.



Rys. 2. Ogólny widok zamodelowanego mechanizmu tnącego w kosiarce bębnowej – złożenie. Źródło własne

Po przygotowaniu bazy niezbędnych elementów, a następnie ich rozmieszczeniu, przyszedł etap wyznaczania trajektorii ruchu robota. Na tym etapie wykorzystano dedykowany pakiet wspomagający pod nazwą ArcWelding PowerPac (AWPP) firmy ABB. Pakiet ten znacząco przyspiesza wyznaczanie trajektorii ruchu przy jednoczesnej konfiguracji parametrów spawania. Przewidywane parametry spawania należy zapisać w trzech strukturach:

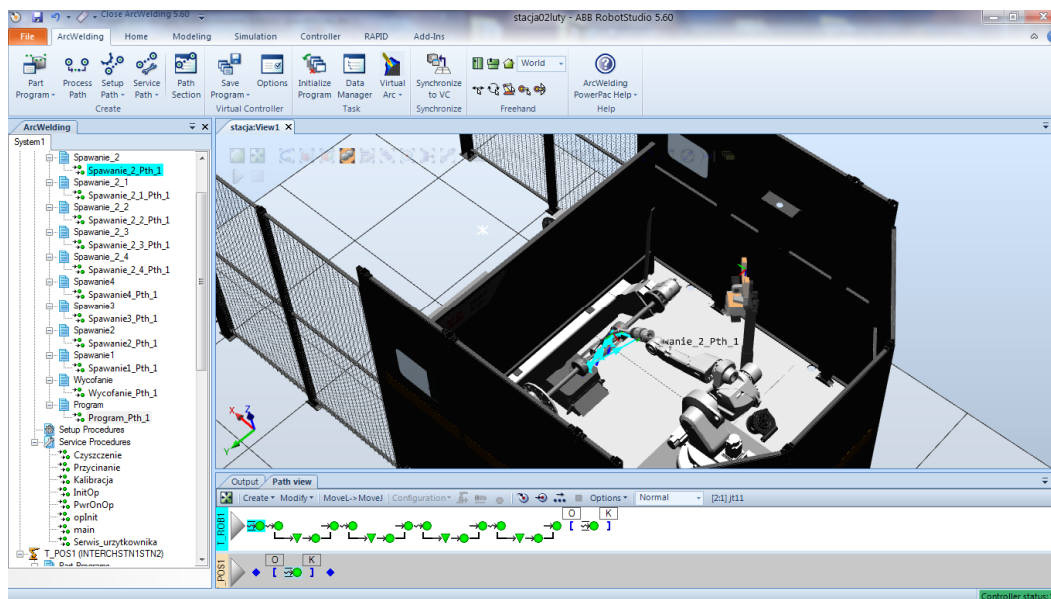
- SeamData – dane związane z rozpoczęciem i zakończeniem procesu spawania,
- WeaveData – dane związane z geometrią wykonywanych ruchów podczas spawania,
- WeldData – dane kontrolujące proces spawania w trakcie stabilnego jarzenia się łuku [7].

Znając już parametry spawania, wyznaczono trajektorię ruchu na podstawie krawędzi podlegających łączeniu. Tak utworzone ścieżki składały się z poszczególnych symboli:

- trójkąt – początek spawania,
- koło – punkty pośrednie,
- strzałka – sposób ruchu robota,
- nawiasy wraz z literami – punkty synchronizacji pracy urządzeń,
- romb – wykonanie określonych operacji [7, 9].

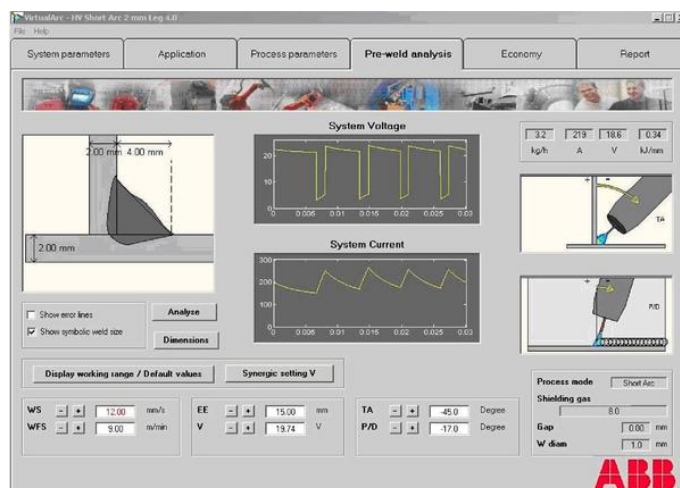
Całą ścieżkę przetestowano pod względem zasięgu i kolizji za pomocą funkcji „Move To” oraz „Simulate” w zakładce „Path view”. Jeśli robot nie ma problemu z dojściem do zadanego punktu, to symbol przyjmuje kolor zielony, jeśli wystąpił problem z konfiguracją osi robota, a punkty są osiągalne, to symbol zmienia kolor na żółty. Jeśli zaś nie ma możliwości osiągnięcia zadanego punktu – symbol ma kolor czerwony.

Nowe możliwości programu RobotStudio pozwalają tak zwizualizowaną celę zapisać z rozszerzeniem .exe, dzięki czemu mamy możliwość przedstawienia koncepcji na dowolnym komputerze bez konieczności posiadania oprogramowania RobotStudio.



Rys. 3. Widok okna głównego dodatku ArcWelding PowerPac. Źródło własne

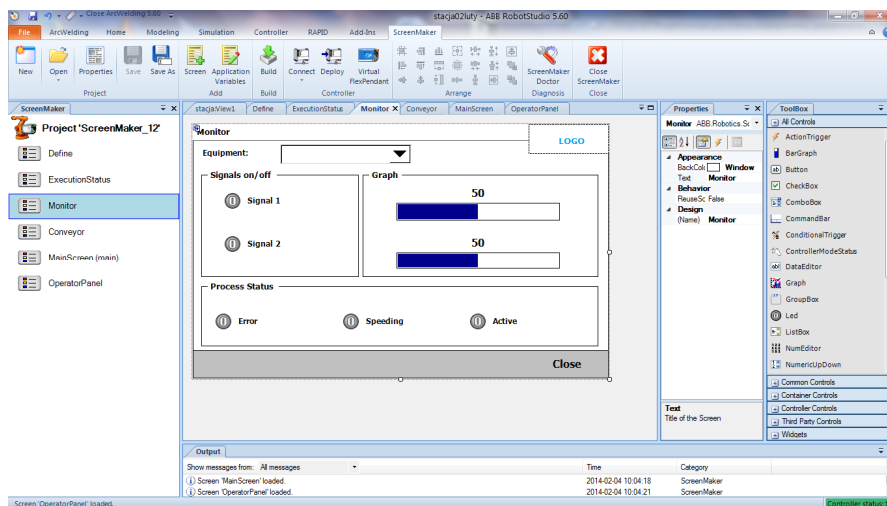
Pakiet ten posiada również oprogramowanie VirtualArc służące do określenia jakości przyszłej spoiny pracujące w trybie off-line. Do analizy spoin wykorzystano wiedzę inżynierską w zakresie spawania metodą MIG/MAG zgromadzoną w sieci neuronowej. W celu określenia jakości spoiny należało pozyskać wiele informacji – począwszy od źródła zasilania, metody spawania, rodzaju drutu oraz ustawienia palnika. Na podstawie tych danych generowany został obraz przyszłej spoiny (kształt, jakość oraz ewentualne wady). Oprogramowanie to pozwala również na przewidywanie przyszłych kosztów spoiny.



Rys. 4. Okno dodatku VirtualArc. Źródło własne

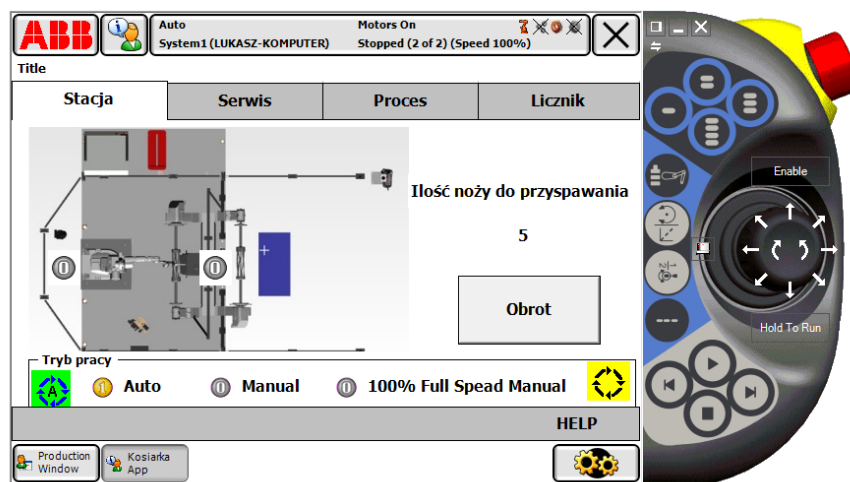
ScreenMaker – narzędzie do tworzenia interfejsu dla operatora

Do utworzenia panelu operatora wykorzystano program ScreenMaker (rys. 5). Jest on wbudowanym narzędziem w RobotStudio służącym do tworzenia wizualizacji parametrów stanowiska na FlexPendancie. Po zaprojektowaniu panelu w celu jego przetestowania przebudowano program i wysłano go do kontrolera.



Rys. 5. Widok pakietu ScreenMaker. Źródło własne

Panel operatora zawiera cztery główne okna: Stacja, Serwis, Proces, Licznik (rys. 6).



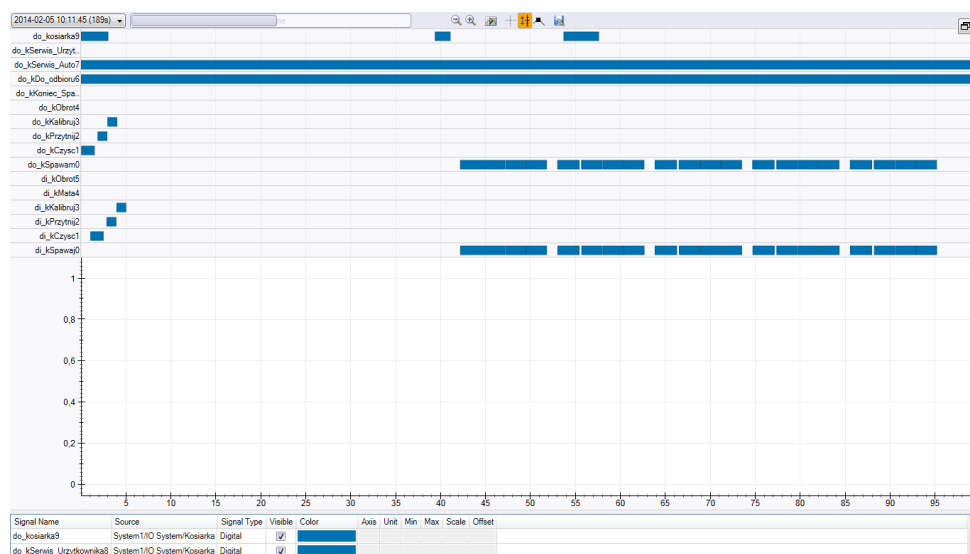
Rys. 6. Widok zakładki „Stacja zaproponowanego” panelu. Źródło własne

- Stacja – zawiera wizualizację stacji, kontrolera oraz procesu. Zakładka zawiera przycisk „Obrót” do obrotu pozycjonera, a także wyświetla informację o liczbie cykli spawania. Przycisk „Help” otwiera okno z procedurą uruchomienia stacji.
- Serwis – pozwala na wybór trybu obsługi palnika. W trybie automatycznym wystarczy ustawić częstotliwość czyszczenia (liczba cykli). W trybie ręcznym możliwe jest wprowadzenie własnych ustawień czyszczenia, przycinania oraz kalibracji palnika.
- Proces – umożliwia ustawienie parametrów spawania (prąd, napięcie, prędkość, czas przedmuchu). W zakładce możliwy jest również monitoring sygnałów systemowych wykorzystanych na stanowisku.
- Licznik – zawiera licznik zliczający liczbę wyprodukowanych produktów.

Prowadzenie symulacji i analiza wybranych parametrów procesu

Analizy wybranych parametrów procesu wykonano w środowisku RobotStudio z użyciem funkcji Signal Analyzer. Narzędzie to pozwala na zobrazowanie długości przebiegów sygnałów cyfrowych występujących w systemie oraz kolejności ich występowania.

Jednocześnie możemy wywnioskować długość poszczególnych cykli spawania oraz całego procesu. Dzięki czemu mamy możliwość sprawnie zarządzać dostawami podzespołów oraz optymalizować poszczególne czasy pracy całego układu.



Rys. 7. Widok okna Signal Analyzer. Źródło własne

4. PODSUMOWANIE

Celem pracy było zaprojektowanie zrobotyzowanego stanowiska produkcyjnego do spawania noży kosiarki bębnowej KR 400 firmy FLORA, opracowanie panelu operatora oraz przeprowadzenie symulacji komputerowych odzwierciedlających pracę stacji z pełną wizualizacją. Oprogramowanie RobotStudio z dodatkiem ArcWelding PowerPac zarówno umożliwiło wizualizację celi roboczej, jak i znacznie przyspieszyło opracowanie kodu programu dla robota. Do odwzorowania działania logiki urządzeń (na poziomie sygnałów sterujących) wykorzystano Smart Componenty, dzięki czemu uzyskano pełną funkcjonalność urządzeń wykorzystywanych w celi w wirtualnym środowisku.

Zaproponowany projekt interfejsu dla operatora powstał z wykorzystaniem dodatku ScreenMaker. Pozwoliło to na przedstawienie najważniejszych informacji procesowych na FlexPendancie. W poszczególnych oknach aplikacji użytkownik ma możliwość konfiguracji czynności serwisowych, podglądu parametrów procesowych, czy ilości wyprodukowanych elementów. Powstałą aplikację przetestowano pod względem poprawności działania. Do optymalizacji procesu wykorzystano narzędzie Signal Analyzer. Natomiast do wstępnej analizy jakości spoiny na podstawie zadanych parametrów użyto dodatku Virtual Arc.

LITERATURA

- [1] Kaczmarek W., Panasiuk J.: *Roboty przemysłowe w wybranych aplikacjach*, Control Engineering Polska, nr 11(104), 12.2013, s. 56.
- [2] Klimpel A.: *Technologia spawania i cięcia metali*, wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997, s. 229.
- [3] Mizerski J.: *Spawanie w osłonie gazów metodami MAG i MIG*, wyd. REA, Warszawa 2005, s. 7.

- [4] Pierzchała M.: *Między maszyną a człowiekiem*, Biuletyn Automatyki, 63, 1/2010, ASTOR, s. 42.
- [5] Piątek Z.: *Polscy dystrybutorzy paneli operatorskich – raport techniczno-rynkowy*, 11.2010, zamieszczony na stronie internetowej portalu branżowego: <http://automatykab2b.pl/>
- [6] Zdanowicz R.: *Robotyzacja dyskretnych procesów produkcyjnych*, wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2009, s. 159.
- [7] Arc Welding Power Pac – Operating Manual, ABB.
- [8] Instrukcja obsługi IRC5 z panelem FlexPendant, ABB Robotics.
- [9] Technical reference manual –RAPID overview, ABB.
- [10] Strony internetowe:
 - <http://www.abb.com/> (dostęp: 01.04.2015)
 - <http://www.fanucrobotics.pl/> (dostęp: 01.04.2015)
 - <http://esab.pl/> (dostęp: 01.04.2015)