

Design and simulation of an automated production line

Piotr Zyzak^{1*}, Krzysztof Janoszek ²

¹ Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, przyzak@ubb.edu.pl

² Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność : Automatyka i Robotyka, krzysztoffjanoszek@gmail.com

* Corresponding author, przyzak@ubb.edu.pl

Abstract: The article presents a study on the project together with the simulation of the operation of an automated production line. As a result of the completed project, an application was created that simulates the operation of a virtual line. The application is controlled programmatically, via a PLC controller, and this was implemented in the SIEMENS TIA PORTAL environment. The simulation of the developed program was implemented in the FACTORY I/O program.

Keywords: PLC program, simulation, control, automated production, safety system;

Projekt i symulacja zautomatyzowanej linii produkcyjnej

Piotr Zyzak^{1*}, Krzysztof Janoszek ²

¹ Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, przyzak@ubb.edu.pl

² Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Automatyka i Robotyka, krzysztoffjanoszek@gmail.com

* Corresponding author, przyzak@ubb.edu.pl

Streszczenie: Artykuł przedstawia opracowanie dotyczące projektu wraz z symulacją działania zautomatyzowanej linii produkcyjnej. W efekcie zrealizowanego projektu utworzona została aplikacja symulująca pracę wirtualnej linii. Sterowanie aplikacją realizowane jest programowo, poprzez sterownik PLC i zostało to zrealizowane w środowisku SIEMENS TIA PORTAL. Symulację opracowanego programu zrealizowano w programie FACTORY I/O.

Słowa kluczowe: program PLC, symulacja, sterowanie, zautomatyzowana produkcja, układ bezpieczeństwa;

1. Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój techniki komputerowej oraz szybki postęp w zakresie technologii wytwarzania doprowadziły w ostatnich kilkunastu latach do szerokiego zastosowania w przemyśle obrabiarek sterowanych numerycznie i robotów przemysłowych [3, 4] oraz zautomatyzowanych systemów transportu i magazynowania [12]. Przede wszystkim jednak rozwój ten przyczynił się do niezwykle intensywnego wykorzystania systemów komputerowych w planowaniu i sterowaniu produkcją. Wymagania współczesnego rynku, cechującego się zapotrzebowaniem na coraz większą liczbę różnych typów i wersji wyrobów, przy niezbędnym w takiej sytuacji znacznym skróceniu serii identycznych produktów oraz szybkiej wymianie tych produktów na lepsze, nowocześniejsze, modniejsze, wymusiły powstanie nowych koncepcji zautomatyzowanych systemów produkcyjnych [1, 2, 6]. Dąży się w nich do osiągnięcia pełnej integracji wszystkich działań związanych z funkcjonowaniem nowoczesnego przedsiębiorstwa produkcyjnego. Produkcja komputerowo zintegrowana, elastyczny system produkcyjny [21], to terminy, które dotyczą coraz większej ilości zakładów produkcyjnych w wielu krajach świata, w tym także w Polsce. Komputerowo zintegrowane podejście i zastosowanie metod zwiększających elastyczność procesów są szczególnie pożądane, bowiem około ¾ ogólnoswiatowej produkcji wytwarzane jest w małych i średnich seriach produkcyjnych. Warunkiem koniecznym tej

integracji są: pełna automatyzacja i robotyzacja procesów wytwórczych [10÷12]. Dostrzega się, że automatyzacja i robotyzacja procesów wytwórczych oraz usługowych to podstawa nowoczesnej gospodarki.

2. Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych- istota problemu

Proces produkcyjny składa się z działań, które prowadzą do wytworzenia z materiałów, półfabrykatów, części maszyn i ich zespołów gotowych wyrobów [19, 21]. Podstawową częścią procesu produkcyjnego jest proces technologiczny [11, 12]. Jego celem jest uzyskanie żądanych kształtów, wymiarów i właściwości przedmiotu pracy albo dokonanie wzajemnych połączeń elementów maszyn lub zespołów w wyrobie. Tym samym ta część procesu produkcyjnego, w której następuje przetwarzanie surowców i półfabrykatów na przedmioty materialne i jest ono prowadzone przy zastosowaniu środków technologicznych i odpowiednich metod nazywana jest wytwarzaniem [3, 4]. Zapewnienie powtarzalności dokładnych parametrów procesu wytwórczego, osiągnięcie odpowiedniej dynamiki przebiegu tego procesu przy równoczesnym uwzględnieniu skutków wszystkich zakłóceń wymaga wyłączenia człowieka zarówno w procesach czysto fizycznych – mechanicznych, jak i wielu procesach intelektualnych – decyzyjnych [1]. Jest to możliwe do zrealizowania poprzez automatyzację, która wyraża podejście w wytwarzaniu do stosowania urządzeń, które przejmują od człowieka działania poznawcze, intelektualne i decyzyjne. Urządzenia te spełniają następujące funkcje [1, 3, 4, 12]:

- pomiarową i rejestracyjną,
- przetwarzanie informacji (gromadzenie informacji w bazach danych, wyznaczanie modeli matematycznych zjawisk i obiektów, wnioskowanie, wypracowanie najlepszych decyzji o oddziaływaniu na obiekt),
- sterowanie (realizacja decyzji o sposobie oddziaływania na obiekt, bezpośrednie oddziaływanie urządzeń na obiekt).

Należy zaznaczyć, że automatyzacja to połączenie czterech istotnych elementów i cech [1, 12]:

1. platformy wykonawczej, do której zaliczamy: maszyny, urządzenia, narzędzia, przyrządy, systemy, hipersystemy,
2. procesu, w którym uwzględniamy: ruchy, operacje i realizowane funkcje,
3. autonomiczności w działaniu wyrażonej w niezależnej strukturze organizacyjnej, procesie sterowania, automatycznej kontroli, sztucznej inteligencji oraz możliwości współpracy z innymi systemami,
4. źródeł energii.

Robotyzacja procesów produkcyjnych odpowiada wprowadzeniu do procesu wytwórczego robotów, manipulatorów i urządzeń pomocniczych, które realizują operacje przy spełnieniu wymogów bezpieczeństwa [14, 22] z ograniczonym udziałem człowieka lub bez jego udziału [1, 10].

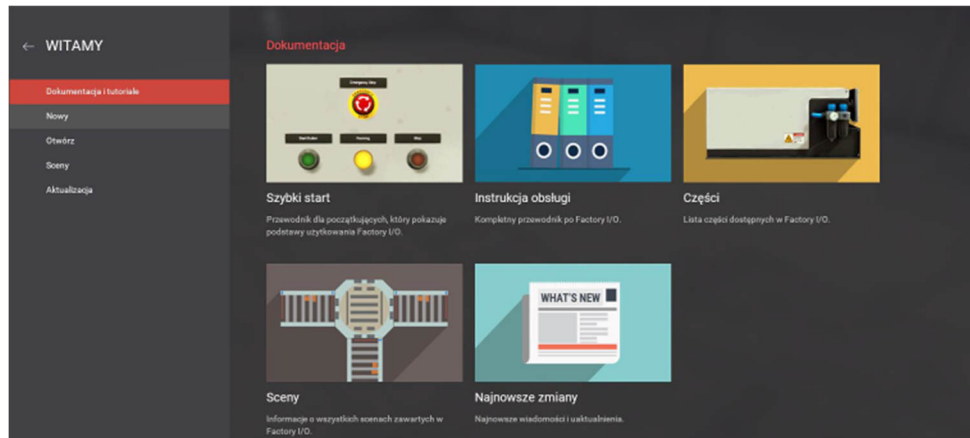
3. Ogólna charakterystyka programów FACTORY I/O oraz SIEMENS TIA PORTAL

Na dzień dzisiejszy dostępnych jest kilka środowisk umożliwiających projektowanie, symulowanie i programowanie prostych, jak i złożonych linii produkcyjnych [5, 15]. Aplikacje te zbudowane są w oparciu o wiedzę i doświadczenie największych producentów automatyzacji na rynku światowym. Na uwagę zasługuje fakt, że wykorzystują one najnowsze rozwiązania technologiczne umożliwiające szczegółowe projektowanie zaawansowanych stanowisk produkcyjnych. Modele symulacyjne są nieodłącznym elementem rozwiązań informatycznych budowanych zgodnie z koncepcją Przemysłu 4.0. Często stanowią podstawę do opracowywania rozwiązań cyfrowego bliźniaka, dlatego środowiska programistyczne są stale rozwijane i udoskonalane, aby sprostać rosnącym wymaganiom przedsiębiorstw produkcyjnych [16÷18]. Do opracowania oprogramowania zaprojektowanej i symulowanej linii wytwarzania wykorzystano środowisko SIEMENS TIA PORTAL, które cechuje się intuicyjnością w programowaniu, dużą ilością zaawansowanych funkcji oraz rozbudowaną bazą najczęściej wybieranych sterowników PLC [8, 15, 20]. Symulację zautomatyzowanej linii zrealizowano w IO FACTORY [7, 15, 20]. Podobnie jak SIEMENS TIA PORTAL aplikacja ta jest prosta w obsłudze oraz intuicyjna. Ponadto na uwagę zasługuje bardzo dobra jakość grafiki oraz dokładność odwzorowania obiektów rzeczywistych. Aplikację tą wykorzystują firmy takie jak VOLVO czy SAMSUNG do symulacji oraz szkoleń pracowników..

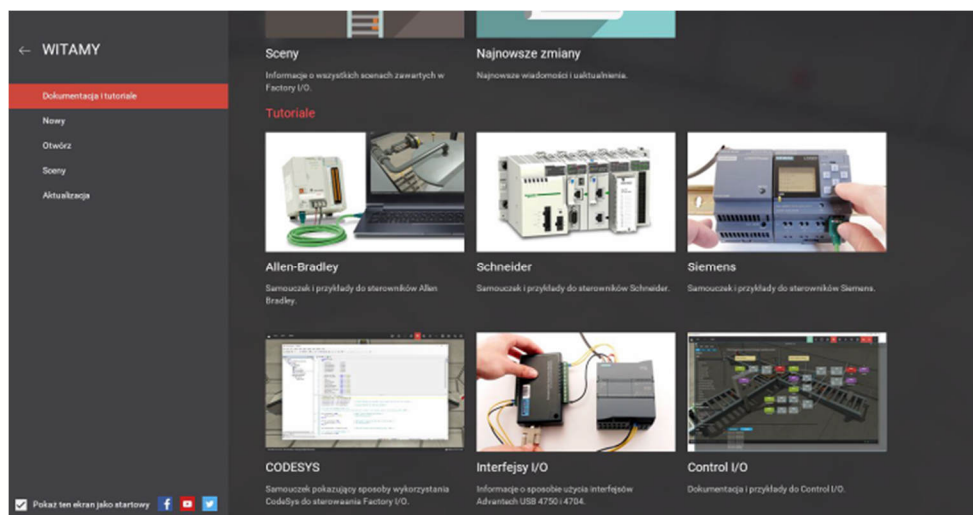
3.1. Aplikacja FACTORY I/O

Środowisko FACTORY I/O [7, 15] umożliwia poprzez korzystanie z pogrupowanych w stosownych panelach dostępnych opcji i funkcji utworzenie projektów symulujących pracy zautomatyzowanych i zrobotyzowanych

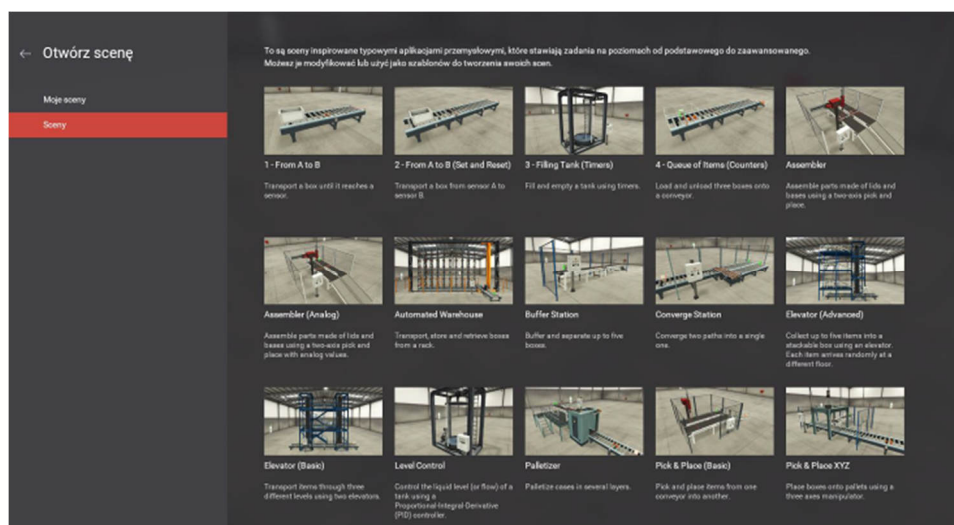
systemów wytwarzania. Na rysunkach 1÷3 przedstawiono widok okna głównego programu oraz wybranych zakładek systemowych.



Rysunek 1. Okno bazowe z otwartą zakładką dokumentację i tutoriala [14]



Rysunek 2. Okno bazowe z otwartą zakładką dokumentację i tutoriala, cz2. [14]

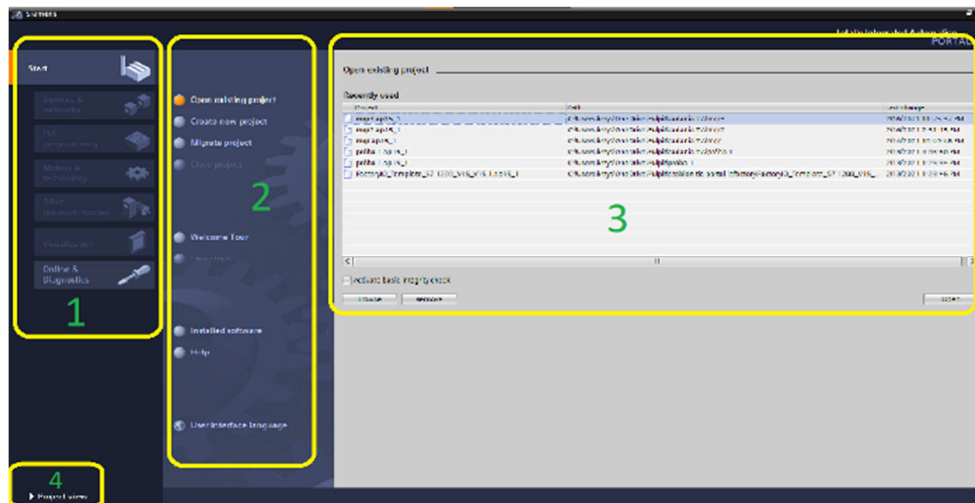


Rysunek 3. Widok okna zakładki "Sceny"[14]

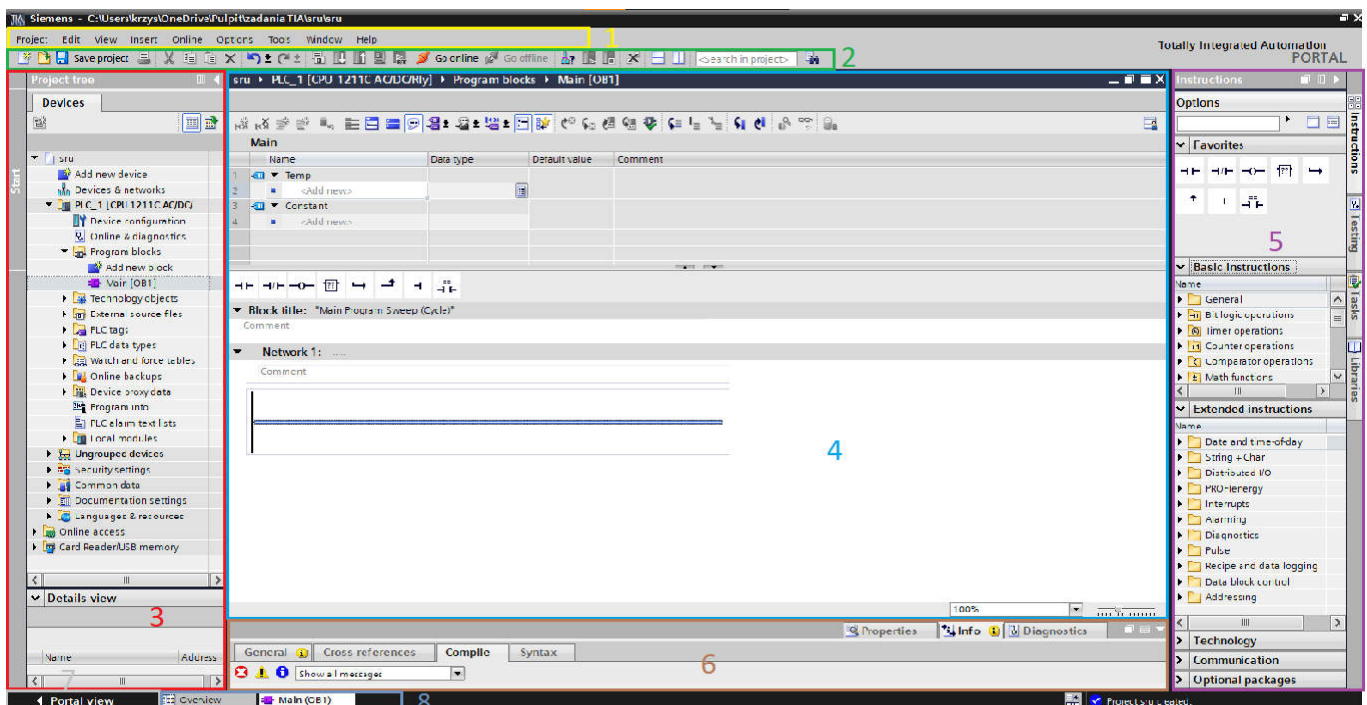
3.2. Aplikacja SIEMENS TIA PORTAL

TIA Portal (Totally Integrated Automation) to ogólnie mówiąc zintegrowane obszerne narzędzie skupiające wewnątrz kilka mniejszych narzędzi, tworząc obszerne zaawansowane środowisko programowe integratorów systemów,

konstruktorom maszyn a także operatorom zakładów. Po uruchomieniu programu użytkownik ma do wyboru dwa typy okien: Portal view oraz Project view. Zostało to przedstawione na rysunkach 4 i 5.



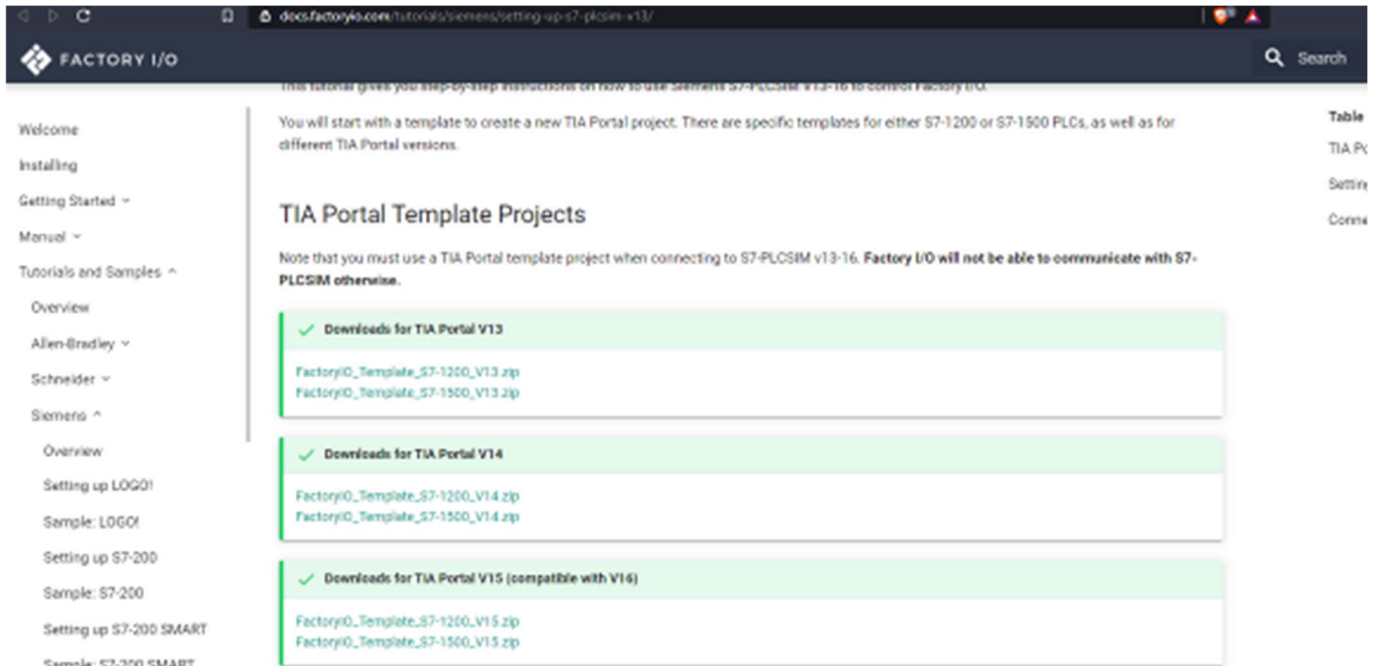
Rysunek 4. Strona główna –Portal view: 1- zakładka zadań, 2- dodatkowe funkcje, 3 – okno dostępnych projektów, 4 – zmiana typu okna [14]



Rysunek 5. Widok okna Project view: 1- pasek menu, 2 – pasek narzędzi, 3 – drzewo projektu, 4 – okno robocze, 5 – drzewo zadań[14]

3.3. Komunikacja SIEMENS TIA PORTAL z FACTORY I/O.

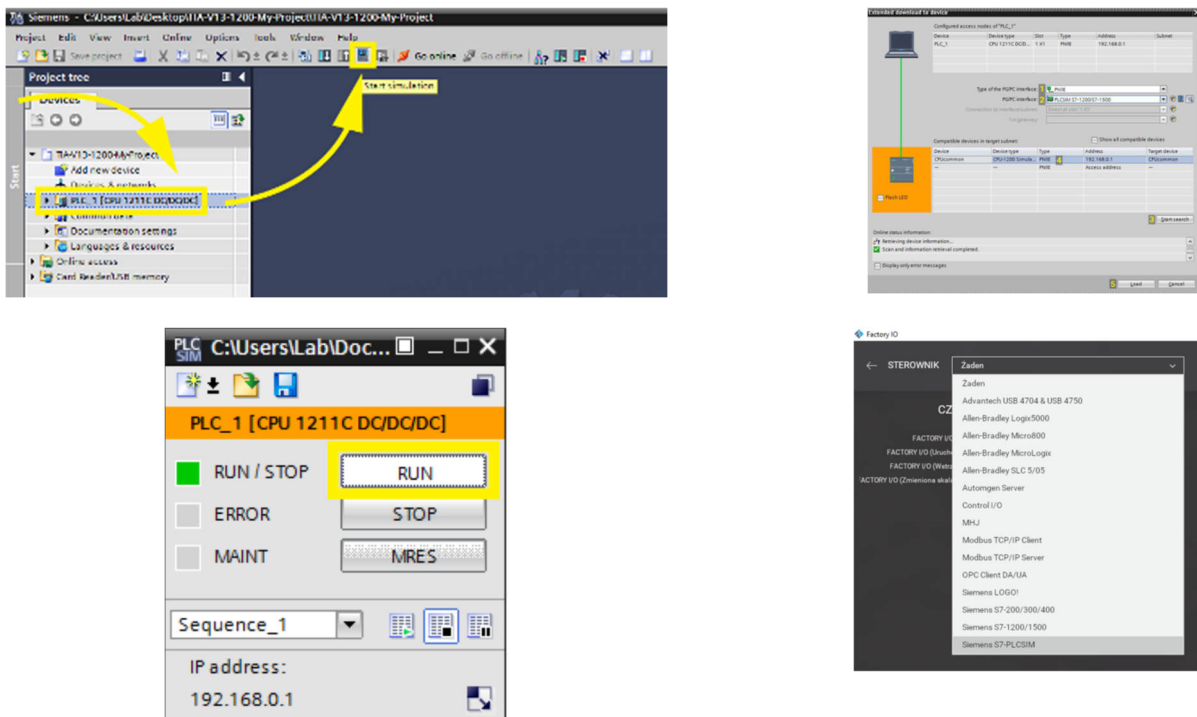
Uruchomienie komunikacji między programami należy rozpocząć od pobrania specjalnego szablonu ze strony internetowej Factory I/O. Na stronie tej należy pobrać szablon, który odpowiada wybranemu sterownikowi oraz wersji programowej SIEMENS TIA PORTAL [8, 15, 20]. Szablon przedstawiony jest na rysunku 6.



Rysunek 6. Strona www z szablonami komunikacyjnymi Factory I/O[14]

Procedura komunikacji rozpoczyna się od uruchomienia symulatora, co przedstawiono na rysunku 7, a następnie wybiera się stosowne urządzenie.

W kolejnych krokach procedura wymaga włączenia na wirtualnym sterowniku funkcji „RUN”, następnie uruchamiamy FACTORY I/O tworzymy nowy projekt i potwierdzamy klawiszem F4. Z listy rozwijalnej sterowników wybieramy Siemens S7-PLCSIM, potwierdzamy opcję konfiguracji, po czym w odpowiednim oknie wybieramy model sterownika, typ danych oraz potrzebną ilość wejść/wyjść. W końcowym etapie wybieramy opcję Połącz i uzyskujemy komunikację pomiędzy oboma programami.



Rysunek 7. Konfiguracja połączenia pomiędzy oboma programami [14]

4. Opracowanie programu PLC realizującego działanie i symulację wirtualnej fabryki w aplikacji FACTORY I/O

4.1. Analiza i założenia projektowe

Budowa projektu polegała na wykonaniu programu sterującego linią produkcyjną wraz z przedstawieniem symulacji powstałego programu w środowisku Factory I/O. Program posiada blok główny MAIN, w którym są wywołane bloki funkcyjne. Każdy z bloków funkcyjnych odpowiedzialny jest za pewną strefę linii. Podstawowe elementy sterowania dostępne są w strefie lokalnej w postaci fizycznych przycisków umieszczonych na jednej z szaf elektrycznych.

4.2. Założenia projektu

Program podzielono na dwa tryby automatyczny oraz ręczny. Tryb automatyczny dostępny jest po przekręceniu przełącznika w pozycję AUTO i wciśnięciu przycisku start. Tryb ręczny uzyskujemy w momencie przekręcenia przełącznika w pozycję RĘCZNY.

Tryb automatyczny – W momencie uruchomienia przycisku start następuje wygenerowanie detalu na podajnik taśmowy. Generowane są dwa typy detali zielone i niebieskie, przy czym kolejność jest losowa. Przemieszczający się detal jest kontrolowany przez pierwszą kamerę, która decyduje czy ma on dostać się do pierwszej obrabiarki czy do następnej. Przed wjazdem do stanowiska obróbczego znajdują się dodatkowe kamery, które weryfikują ewentualną pomyłkę rozdzielenia detali na poprawne taśmy podajnika. Po obróbce gotowe fabrykaty trafiają na kolejne podajniki taśmowe, na końcu których są kamery i blokady. Po rozpoznaniu stosownego detalu manipulator odpowiednio układa detale do pojemników wykonanych z tworzywa sztucznego, które to znajdują się na podajnikach rolkowych. Gdy w skrzynce znajdują się trzy detale następuje uruchomienie podajników rolkowych, a po dojechaniu do końca skrzynki z detalami zostają pobrane i w strefie załadunku pojawiają się nowe puste pojemniki.

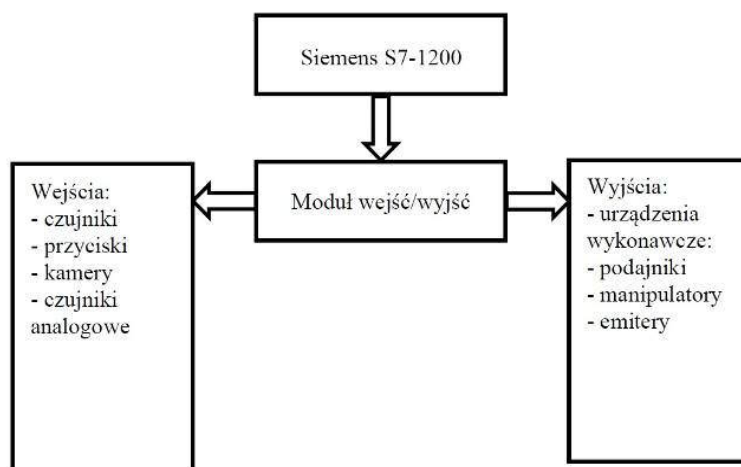
Tryb ręczny – Sterowanie ręczne dostępne jest po uprzednim przekręceniu przełącznika w pozycję trybu: RĘCZNY. W tym momencie tryb automatyczny jest nieaktywny i nie można uruchomić symulacji. Tryb ręczny służy głównie do kontroli poszczególnych podzespołów. W trybie tym istnieje możliwość kontroli: podajników taśmowych i rolkowych, dźwięku syreny alarmowej, osi manipulatora.

Alarmy – W aplikacji użyto alarmów sygnałowych i świecącej lampy ostrzegawczej w momencie niepowodzenia. Główne alarmy jakie występują to: alarm niepoprawnego detalu podczas wjazdu do obrabiarki, alarm uchwycenia detalu przez manipulator, alarm wadliwego detalu przed pakowaniem.

Bezpieczeństwo – W linii poza ogrodzeniem z siatki metalowej występują włączniki awaryjne, które w razie zagrożeniu bezpieczeństwa należy niezwłocznie wcisnąć oraz występuje wyłącznik krańcowy.

4.3. Schemat komunikacji sterownika z urządzeniami wejścia / wyjścia

Schemat komunikacji sterownika z urządzeniami wejścia/wyjścia przedstawiono na rysunku 8.



Rysunek 8. Schemat komunikacji urządzeń wejścia/wyjścia [14]

Na poniższym rysunku 9 przedstawiono niektóre z podłączonych wejść i wyjść do sterownika S7-1200 w Factory I/O.

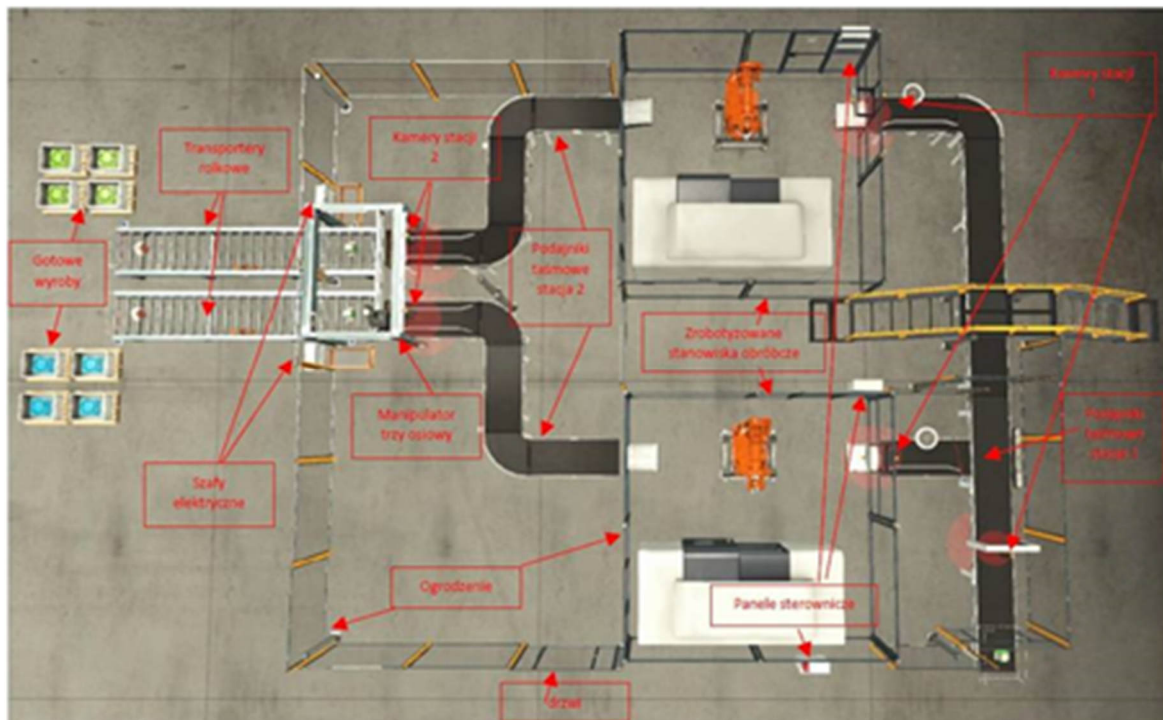
NM.1	NM.1
NM.2	NM.2
NM.3	NM.3
NM.4	NM.4
NM.5	NM.5
NM.6	NM.6
NM.7	NM.7
NM.8	NM.8
NM.9	NM.9
NM.10	NM.10
NM.11	NM.11
NM.12	NM.12
NM.13	NM.13
NM.14	NM.14
NM.15	NM.15
NM.16	NM.16
NM.17	NM.17
NM.18	NM.18
NM.19	NM.19
NM.20	NM.20
NM.21	NM.21
NM.22	NM.22
NM.23	NM.23
NM.24	NM.24
NM.25	NM.25
NM.26	NM.26
NM.27	NM.27
NM.28	NM.28
NM.29	NM.29
NM.30	NM.30
NM.31	NM.31
NM.32	NM.32
NM.33	NM.33
NM.34	NM.34
NM.35	NM.35
NM.36	NM.36
NM.37	NM.37
NM.38	NM.38
NM.39	NM.39
NM.40	NM.40
NM.41	NM.41
NM.42	NM.42
NM.43	NM.43
NM.44	NM.44
NM.45	NM.45
NM.46	NM.46
NM.47	NM.47
NM.48	NM.48
NM.49	NM.49
NM.50	NM.50
NM.51	NM.51
NM.52	NM.52
NM.53	NM.53
NM.54	NM.54
NM.55	NM.55
NM.56	NM.56
NM.57	NM.57
NM.58	NM.58
NM.59	NM.59
NM.60	NM.60
NM.61	NM.61
NM.62	NM.62
NM.63	NM.63
NM.64	NM.64
NM.65	NM.65
NM.66	NM.66
NM.67	NM.67
NM.68	NM.68
NM.69	NM.69
NM.70	NM.70
NM.71	NM.71
NM.72	NM.72
NM.73	NM.73
NM.74	NM.74
NM.75	NM.75
NM.76	NM.76
NM.77	NM.77
NM.78	NM.78
NM.79	NM.79
NM.80	NM.80
NM.81	NM.81
NM.82	NM.82
NM.83	NM.83
NM.84	NM.84
NM.85	NM.85
NM.86	NM.86
NM.87	NM.87
NM.88	NM.88
NM.89	NM.89
NM.90	NM.90
NM.91	NM.91
NM.92	NM.92
NM.93	NM.93
NM.94	NM.94
NM.95	NM.95
NM.96	NM.96
NM.97	NM.97
NM.98	NM.98
NM.99	NM.99
NM.100	NM.100

Rysunek 9. Moduł wejść/wyjść [14]

4.4. Layout stanowiska

- Wymiary stanowiska 20m x 14m,
- 2 x Zrobotyzowane stanowiska obróbcze z robotami sześćoosiowymi ,
- 1 x manipulator trzy osiowy kartezjański,
- Sterownik S7-1200,
- Podajniki taśmowe: 2 x 6m podajniki taśmowe, 6 x 2m podajniki taśmowe, 5 x podajniki skrętne,
- 2 x 6m podajniki rolkowe,
- Osłony wykonane z metalowej siatki,
- Drzwi bezpieczeństwa z krańcówką,
- Panele sterowania procesem oraz centrami obróbczymi.

Na rysunku 10 przedstawiono layout zaprojektowanego stanowiska zrobotyzowanego.



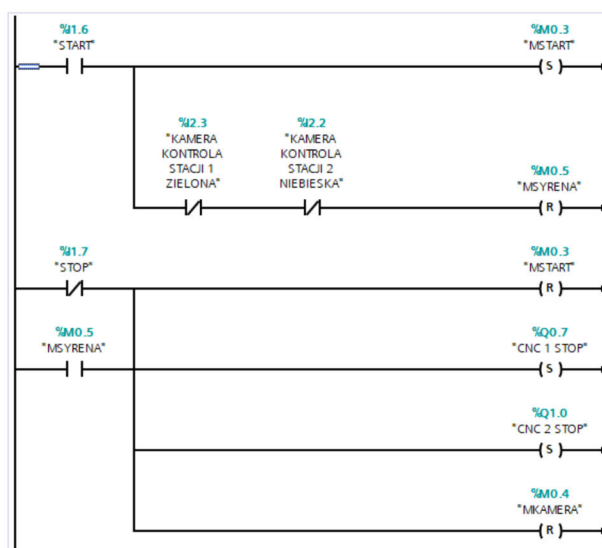
Rysunek 10. Layout stanowiska [14]

4.5. Analiza programu PLC

Program PLC [9, 13] sterujący linią zbudowany jest z głównego bloku MAIN i trzech podbloków, które są w tym bloku wywoływane. Poniżej przedstawiono najważniejsze elementy programu.

Uruchamianie i resetowanie cyklu

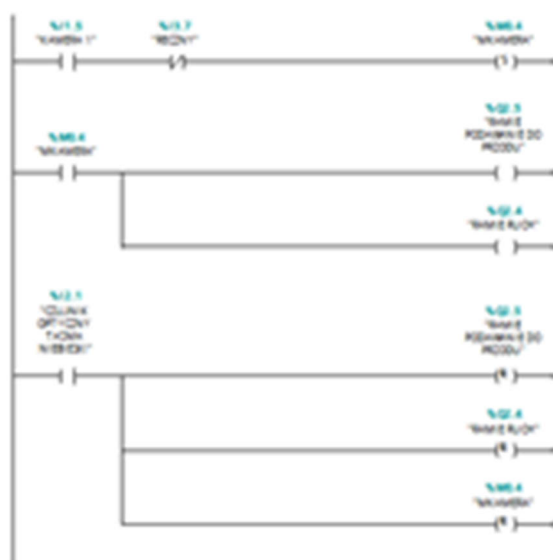
Naciskając przycisk start następuje przypisanie jedynki do markera, który podtrzymuje tryb automatyczny. W momencie gdy wystąpi alarm, bądź zostanie wciśnięty grzyb bezpieczeństwa następuje resetowanie cyklu wraz z urządzeniami obróbczymi. Sekwencja ta przedstawiona jest na rysunku 11.



Rysunek 11. Struktura cyklu Start/Reset [14]

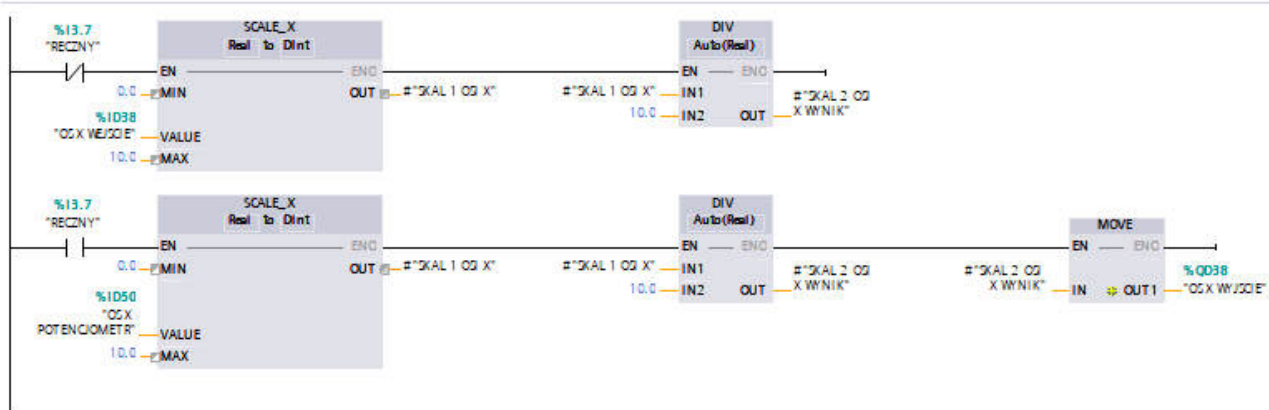
Kontrolowanie koloru i odpowiednie sortowanie detali

Jeśli kamera na stacji 1 wykryje detal niebieski, uaktywnia marker, który uruchamia spychacz, a w momencie gdy detal znajdzie się na drugiej taśmie marker zostaje zresetowany na podstawie czujnika obecnego na taśmie doprowadzającej do obrabiarki. Sekwencję przedstawia rysunek 12.



Rysunek 12. Kontrola barwy detalu [14]

Aby określić położenie manipulatora trzyosiowego należało pobrać wartość z czujnika analogowego do zmiennej, następnie w bloku Scale X przeprowadzić skalowanie z wartości REAL do DINT, a ostatecznie taką wartość podzielić przez dziesięć, by móc precyzyjnie sterować manipulatorem. Na rysunku 13 przedstawiono przykładowe skalowanie osi X.

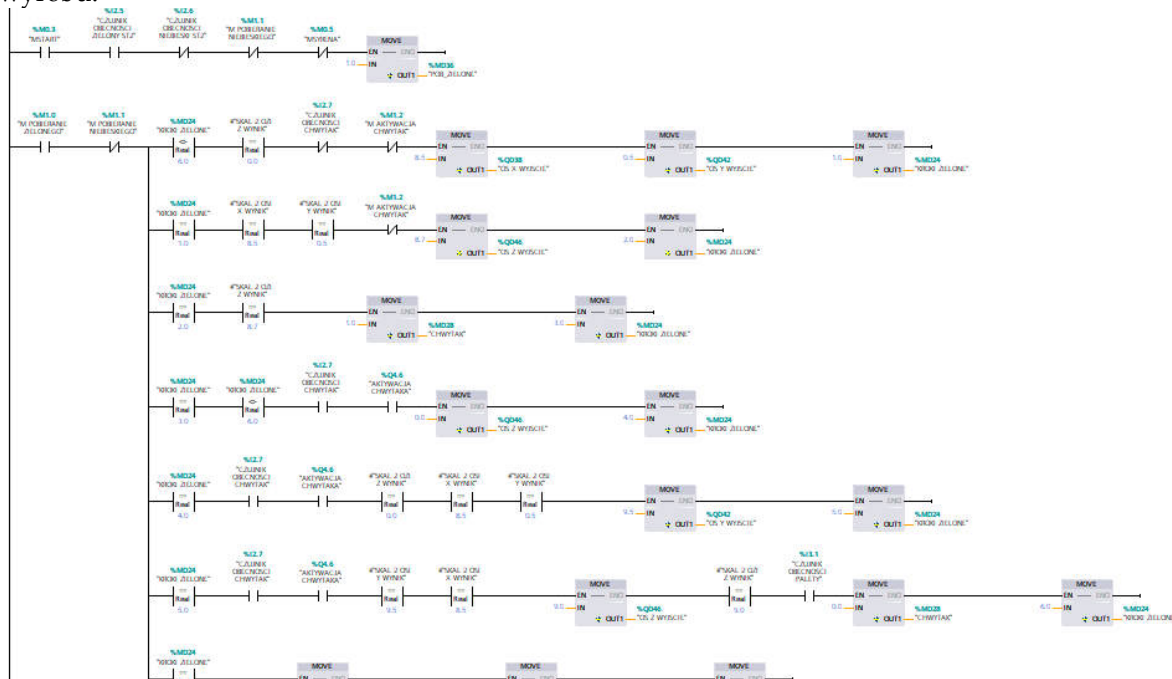


Rysunek 13. Przykład skalowania osi X [14]

Wyzwolenie pobierania wyrobu przez manipulator trzy osiowy

Dojeżdżający detal do blokady podajników taśmowych uaktywnia proces pobierania wyrobu. Cykl jest tak zabezpieczony, by w momencie uruchomienia pobierania wyrobu zielonego i niebieskiego najpierw nastąpiło pobranie wyrobu zielonego, a potem niebieskiego, aby nie spowodować zatrzymania programu. Cykl manipulatora jest podzielony na 7 kroków. W każdym kroku muszą być spełnione odpowiednie sygnały z czujników oraz odpowiednie wartości manipulatora.

W momencie spełnienia wszystkich warunków w danej linii blokiem MOVE do odpowiedniej zmiennej kopiowana jest liczba spełniająca wartość danego kroku. Skopiowana wartość z poprzedniej linii jest sprawdzana na początku nowej linii wraz z kolejnymi warunkami. Na rysunku 14 przedstawiono krok po kroku pobieranie i odkładanie gotowego wyrobu.

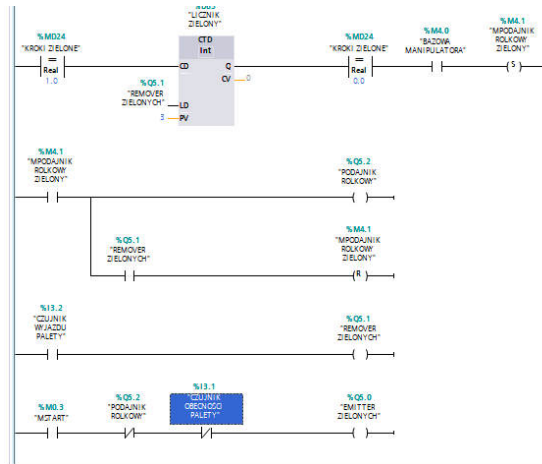


Rysunek 14. Cykl pracy manipulatora [14]

Zliczanie odłożonych sztuk, uruchamianie emitera, podajnika rolkowego.

Każdy siódmy krok po zakończeniu cyklu manipulatora uaktywnia sygnał, który powoduje zwiększanie wartości licznika. W momencie, gdy licznik osiągnie wartość zadaną następuje uruchomienie podajnika rolkowego, który przenosi paletę z odłożonymi detalami do skrzynki, a element, który jest odpowiedzialny za pojawienie się nowej skrzynki po odjechaniu poprzedniej resetuje licznik i wyłącza podajnik rolkowy.

Na rysunku 15 przedstawiono strukturę programu dla licznika do zliczania odłożonych detali.



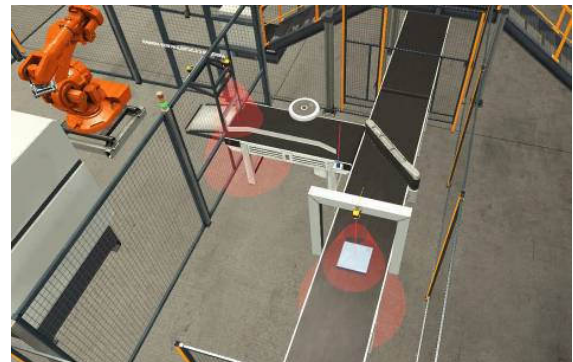
Rysunek 15. Struktura programu dla licznika/emitera [14]

5. Analiza funkcjonalności zaprojektowanego stanowiska zrobotyzowanego

Podany na taśmę podajnika detal jest kontrolowany na podstawie rozróżnienia koloru. Jeśli detal jest zielony przejeżdża on dalej do drugiej obrabiarki (Rys. 16), w momencie gdy zostanie wykryty detal niebieski następuje uruchomienie ramienia, które przestawia detal do pierwszej obrabiarki (Rys. 17).



Rysunek 16. Kontrola koloru detalu [14]



Rysunek 17. Rozpoznanie obecności detalu koloru niebieskiego [14]

O powrocie ramienia decyduje czujnik zamontowany na taśmie doprowadzającej detal do obrabiarki. W momencie wykrycia sygnału następuje powrót spychacza do pozycji bazowej (Rys. 18). Przed dojazdem detalu do obrabiarki dokonywana jest ponowna kontrola poprawności koloru, w razie gdyby nastąpiło uszkodzenie kamery stacji pierwszej bądź wystąpiła by innego typu usterka. Wykryta nieprawidłowość zatrzymuje proces i uruchamia syrenę alarmową, do momentu usunięcia nieprawidłowego detalu z taśmy i zresetowania cyklu (Rys. 19).



Rysunek 18. Reset spychacza [14]



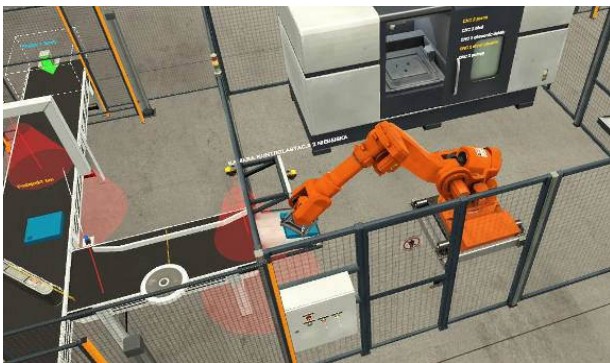
Rysunek 19. Kontrola detalu przed podaniem do centrum obróbczego [14]

Analogicznie sytuacja wygląda na drugiej obrabiarce, z tym że na dalszej stacji nie ma spychacza zmieniającego tor jazdy detalu, gdyż w tym wypadku można było zastosować podajnik kątowy. Kontrole są przeprowadzane w ten sam sposób jak przy pierwszej obrabiarce (Rys. 20).



Rysunek 20. Dojazd detalu koloru zielonego do drugiej obrabiarki [14]

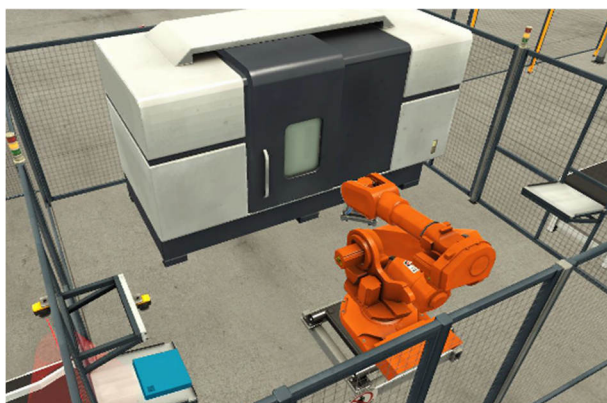
Po przejściu wszystkich kontroli pozytywnie, w momencie pojawienia się detali w obszarze pobierania przez robota, następuje podanie sygnału do robota, który z pozycji bazowej podjeżdża do pobierania detali (Rys. 21). Następnie jest on umieszczany w obrabiarce (Rys. 22), a robot oczekuje na zakończenie pracy obrabiarki w pozycji bazowej (Rys. 23). Po zakończeniu pracy następuje pobranie obrobionego detalu z obrabiarki i odłożenie go na taśmę podajnika (Rys. 24). Pod drugiej stronie linii sytuacja wygląda identycznie, z tym że obrabiany jest detal koloru zielonego.



Rysunek 21. Pobieranie detalu [14]



Rysunek 22. Umieszczanie pobranego detalu w obrabiarce [14]

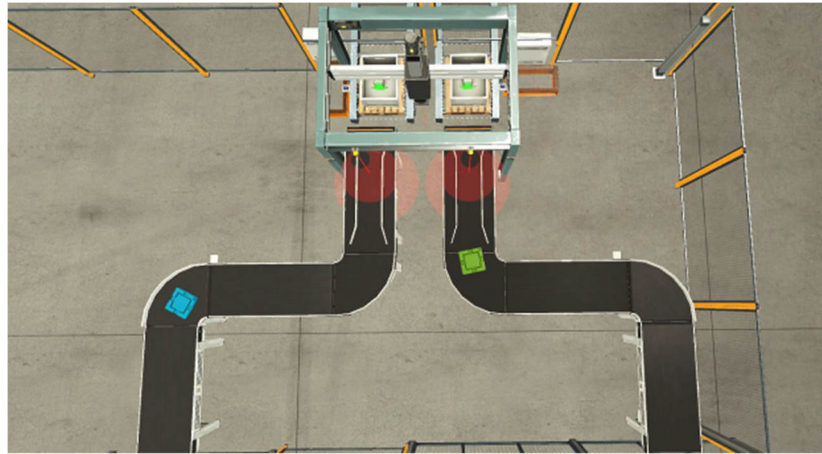


Rysunek 23. Oczekiwanie na zakończenie pracy obrabiarki [14]



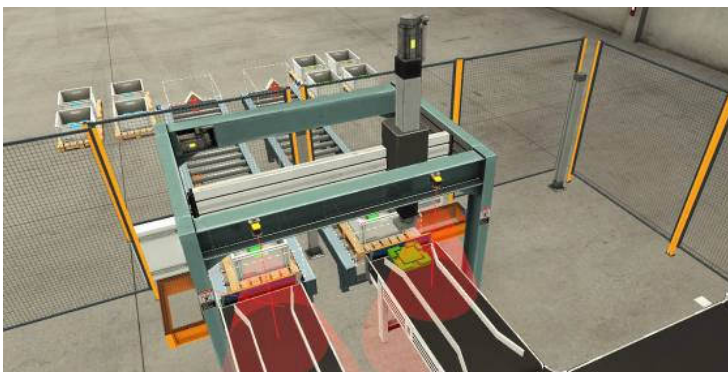
Rysunek 24. Odkładanie obrobionego detalu [14]

W ostatnim etapie manipulator trzyosiowy oczekuje w pozycji bazowej na sygnał obecności detali do odbioru z podajnika taśmowego (Rys. 25). Przemieszczające się detale podajnikiem taśmowym ponownie są kontrolowane kamerą, jeśli nie zgadza się kolor detalu, to wystąpi zatrzymanie linii i włączenie syreny.

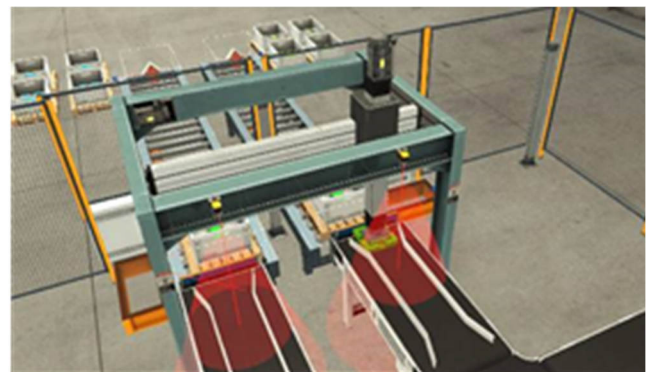


Rysunek 25. Podajniki taśmowe z detalami po obróbce [14]

Gdy kontrola nie wskaże żadnych nieprawidłowości czujnik obecności detalu uruchamia cykl pobierania. Z pozycji bazowej manipulator zmienia pozycję osi X i Y aby podjechać nad detal (Rys. 26), następnie zjeżdża po detal zmieniając tylko pozycję osi Z (Rys. 27). Po uzyskaniu potwierdzenia sygnału ze wszystkich osi następuje uruchomienie podciśnienia i w momencie, gdy czujnik obecności detalu da sygnał następuje wycofanie osi Z. Manipulator udaje się nad skrzynkę i następuje odłożenie detalu (kolejno Rys. 28 oraz Rys. 29). Odłożenie detalu ponownie kontrolowane jest poprzez utracenie sygnału z czujnika obecności detalu w uchwycie manipulatora. Po ukończeniu cyklu manipulator powraca do pozycji bazowej. Pobieranie wyrobu z drugiej taśmy wygląda identycznie (Rys. 30 oraz Rys. 31).



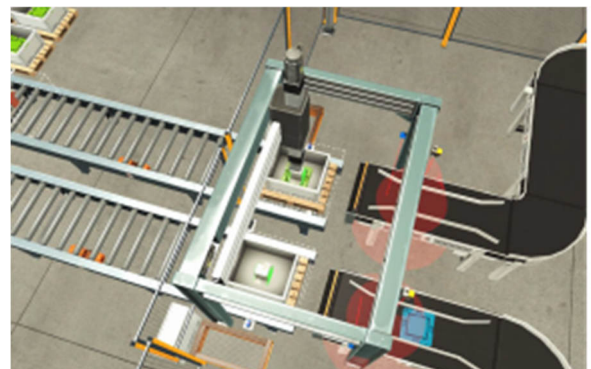
Rysunek 26. Podajniki taśmowe z detalami po obróbce [14]



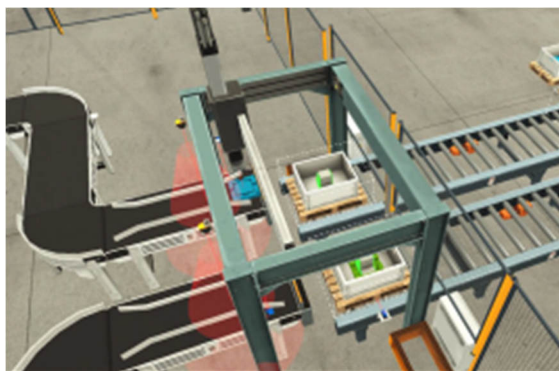
Rysunek 27. Pobieranie detalu [14]



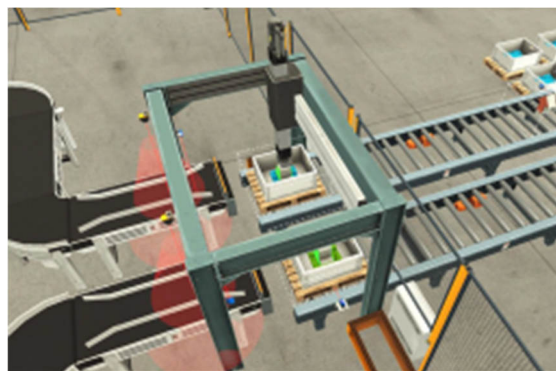
Rysunek 28. Przejazd manipulatora nad paletę ze skrzynką [14]



Rysunek 29. Odkładanie wyrobu [14]

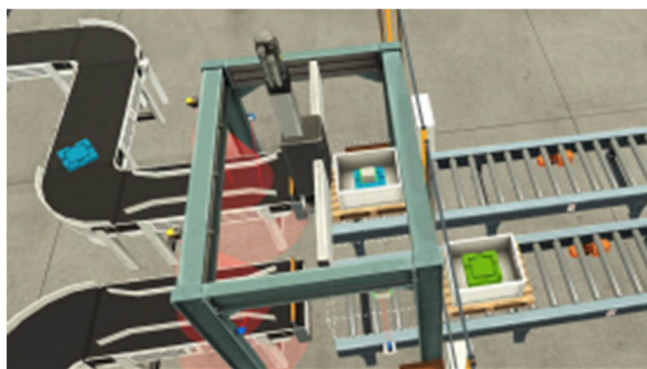


Rysunek 30. Pobieranie detalu z drugiej taśmy [14]



Rysunek 31. Odkładanie na podajnik wyrobu niebieskiego [14]

Naliczenie trzech detali w skrzynce uruchamia podajnik rolkowy i następuje odjazd palety (Rys. 32).



Rysunek 32. Odjazd napełnionej skrzynki [14]

6. Podsumowanie i wnioski

Opracowany projekt zautomatyzowanej linii wytwarzania został w całości wykonany w oparciu o środowiska FACTORY I/O oraz SIEMENS TIA PORTAL. FACTORY I/O to elastyczne środowisko służące do symulacji rzeczywistych systemów automatyki przemysłowej posiadające obszerną bibliotekę komponentów oraz scenariuszy, pozwalające tworzyć projekty rozbudowanych zespołów urządzeń, programować je i weryfikować poprawność działania. Ograniczeniem FACTORY I/O jest, w zależności od wersji możliwość połączenia symulacji z rzeczywistymi sterownikami. Obecnie na rynku dostępnych jest przynajmniej kilka profesjonalnych programów umożliwiających dokładne projektowanie i przeprowadzanie symulacji wysoko zautomatyzowanych i zrobotyzowanych linii, jednak koszty takich oprogramowań są bardzo wysokie i niedostępne do celów zapoznawczych i testowych. Dlatego też w ramach realizacji projektu wykorzystano środowiska FACTORY I/O, które jest dostępne w formie testowej oraz umożliwia kontynuację licencji za niewielki koszt. Poza tym środowisko to współpracuje z programami do prac programistycznych największych producentów zajmujących się automatyką przemysłową, takich jak: SIEMENS, ALLEN BRADLEY. Na cel publikacji przedstawiono wybrane etapy tworzenia projektu, zarówno w formie graficznej, jak i opisu słownego. Zrealizowanie projektu wymagało uwzględnienia wielu aspektów związanych z bezpieczeństwem na linii oraz jej funkcjonalnością. Rozmieszczenia środków technicznego wyposażenia linii dokonano w taki sposób, aby zapewnić dostęp do kluczowych miejsc wymagających szybkiego dostępu serwisu, jednocześnie pamiętając o minimalizacji obszaru potrzebnego na ulokowanie linii na hali. Dobierając sterownik oraz moduły wejść i wyjść uwzględniono ich zapas, na wypadek konieczności dołożenia dodatkowego obiektu, bądź dalszego rozwoju linii. Jeżeli sterownik PLC ma zgodnie z opracowanym algorytmem realizować sterowanie procesem lub obiektem należy opisać jego działanie w sposób sformalizowany, czyli w języku programowania zrozumiałym dla sterownika. Pisząc program, obsługujący wizualizację warto wprowadzić do programu opisy list wejść i wyjść zgodnie z opisami elementów zawartych w programie symulacyjnym. Takie podejście zdecydowanie ułatwia pracę podczas pisania programu, ale także zapobiega popełnieniu błędów. Program musi być napisany zgodnie z regułami obowiązującymi w danym języku, zgodnie z jego gramatyką, bez błędów syntaktycznych, tzn. składniowych. Musi też

w sposób precyzyjny i wierny odzwierciedlać algorytm sterowania, gdyż w przeciwnym razie nie zrealizuje założonych warunków i będzie błędny w sensie znaczeniowym – semantycznym. Praca ukazuje możliwość wykorzystania narzędzi wirtualnej rzeczywistości do projektowania i analizy działania współbieżnych systemów wytwarzania, co jest niezwykle ważne w ocenie już funkcjonujących linii oraz w aspekcie tworzenia nowych systemów. Synergia środowiska FACTORY I/O z SIEMENS TIA PORTAL stanowi bardzo dobre rozwiązanie w zakresie pogłębienia wiedzy z obsługi, programowania oraz użytkowania sterowników programowalnych PLC. Przy programowaniu złożonych algorytmów sterowania korzystnym rozwiązaniem jest dekompozycja sterowania na kilka prostszych zadań i przypisanie każdemu z nich oddzielnego programu. Programy te realizują poszczególne zadania i oczywiście mogą ze sobą współpracować przez wywołanie odpowiednich instrukcji.

Literatura

1. Kost G, Węsierski Ł, Łebkowski P.: Automatykacja i robotyzacja procesów produkcyjnych. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A., Warszawa 2018.
2. Honczarenko J.: Elastyczna automatyzacja wytwarzania: obrabiarki i systemy obróbkowe. WNT, Warszawa 2000.
3. Honczarenko J.: Obrabiarki sterowane numerycznie. WNT, Warszawa 2008.
4. Honczarenko J.: Roboty przemysłowe. Elementy i zastosowanie. WNT, Warszawa 2009.
5. Szybicki D, Pietruś P.: Zastosowanie wirtualnej rzeczywistości w projektowaniu stacji zrobotyzowanych. *Pomiary Automatyka i Robotyka*, R.24. nr 2.(2020), 63-68.
6. Serwis internetowy: <http://portalautomatyki.pl/technika/1201708-jak-dziala-i-z-czego-sklada-sie-linia-produkcyjna-w-fabryce>, 30.10.2020.
7. Serwis internetowy: <https://docs.factoryio.com/tutorials/siemens/setting-up-s7-plcsim-v13/>, 15.10.2020.
8. Serwis internetowy: <https://strefainzyniera.pl/arttykul/991/tia-portal>, 01.09.2020.
9. Kwaśniewski J.: Sterownik SIMATIC S7-1200 i S7-1500 w zaawansowanych systemach sterowania. Wydawnictwo BTC, Legionowo 2018.
10. Kaczmarek W, Panasiuk J.: Robotyzacja procesów produkcyjnych. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 2021.
11. Feld M.: Projektowanie i automatyzacja procesów technologicznych. WNT, Warszawa 1994.
12. Mikulczyński T.: Automatykacja procesów produkcyjnych. Metody modelowania procesów dyskretnych i programowania sterowników. WNT, Warszawa 2006.
13. Gilewski T.: Szkoła programisty PLC. Wydawnictwo HELION, Gliwice 2017.
14. Janoszek K.: Wykorzystanie współczesnych technik komputerowych do projektowania i symulacji działania linii produkcyjnych. Praca dyplomowa magisterska. Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała, 2021.
15. PN-EN ISO 13849-1:2023-09 Bezpieczeństwo maszyn. Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1. Ogólne zasady projektowania..
16. Zadroga P.: Co skrywa MOXA? Switch-e dla sieci Profinet i konfiguracja w TIA Portal. Serwis internetowy <https://iautomatyka.pl/category/wiedza/literatura/>, 05.11.2024.
17. Bendowska K., Zawadzki P.: Development and Verification of a Simulation Model of an Automated Assembly Line. *Applied Science*, 2023, 13(18), 10142; <https://doi.org/10.3390/app131810142>.
18. Ruane P., Walsh P., Cosgrove J.: Using Simulation Optimization to Improve the Performance of an Automated Manufacturing Line. *Procedia Computer Science*, Volume 217, (2023), 630-639; <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.259>.
19. Lee, J.-D., Hsu H.-Y., Li C.-Y., Yang, J.-Y.: Design and Implementation of Intelligent Automated Production-Line Control System. *Electronics* 10, (2021), 2502. <https://doi.org/10.3390/electronics10202502>.
20. Yazen H. A., Alwaleed K. M., Mustafa N. A., Arjwan O. M.: Design and Simulation of an Automated Production Plant and Warehouse Management System. *IEEE*; <https://doi.org/10.1109/ICESAT58213.2023.10347287>.
21. Hector V., Ruben H., Matias D., Gonzalo F.: Teaching automation with Factory I/O under a competency-based curriculum. *Multimedia Tools and Applications* (2023) 82:19221–19246; <https://doi.org/10.1007/s11042-022-14047-9>.
22. Silin L., Songqing C.: Simulation and optimization of a factory automation production line based on Plant Simulation. *Journal of Physics: Conference Series* 1820 (2021) 012172. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1820/1/012172>.
23. PN-EN IEC 62061:2021-12 Bezpieczeństwo maszyn -- Bezpieczeństwo funkcjonalne systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem.