



**Politechnika
Śląska**

PROJEKT INŻYNIERSKI

„Wirtualne uruchomienie procesu produkcyjnego z wykorzystaniem Factory I/O ”

Justyna Neblik
Nr albumu 293549

Kierunek: AUTOMATYKA I ROBOTYKA
Specjalność: Automatyka Procesowa

PROWADZĄCY PRACĘ
Dr inż. Paweł Nowak
KATEDRA Automatyki i Robotyki
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki

Gliwice, Styczeń 2023

Tytuł pracy: Wirtualne uruchomienie procesu produkcyjnego z wykorzystaniem Factory I/O

Streszczenie:

Celem pracy jest stworzenie programu sterującego przykładowym procesem produkcyjnym symulowanym w programie Factory I/O. Program sterujący jest napisany w środowisku Studio 5000 (sterowniki Allen-Bradley). Projekt ma charakter hybrydowy, tzn. poza symulacją należy wykorzystać rzeczywiste elementy: takie jak przemienniki częstotliwości, kolumnę sygnalizacyjną i przyciski dostępne na stanowisku laboratoryjnym.

Słowa kluczowe:

Przemysł 4.0, Allen-Bradley, Factory I/O, symulacja, RSlogix 5000, linia produkcyjna, przemiennik częstotliwości

Thesis title:

Virtual commissioning of a production process using Factory IO

Abstract:

The purpose of the BEng Thesis is to create a program that controls an example manufacturing process simulated in Factory I/O software. The control program is written in the Studio 5000 environment (Allen-Bradley controllers). The project is hybrid in nature, i.e., in addition to simulation, real actuators (PowerFlex inverters) and buttons and lights available on the laboratory bench are used.

Keywords:

Industry 4.0, Allen Bradley, Factory I/O, simulation, RSlogix 5000, Production line, Variable-frequency drive (VFD)

Spis treści

1.	Wstęp.....	7
2.	Analiza tematu.....	9
2.1.	Sterownik.....	11
2.1.	Panel HMI PanelView Plus 1000	11
2.2.	EtherNet/IP	12
2.3.	Przeźmiennik częstotliwości oraz silnik asynchroniczny.....	12
2.4.	Przeźmiennik bezpieczeństwa.....	12
2.5.	Kolumna świetlna oraz przyciski.....	12
3.	Narzędzia i metody wykorzystane w pracy	14
3.1.	Wirtualny rozruch – opis oprogramowania symulacyjnego Factory I/O.....	14
3.2.	Opis oprogramowania do pisania programu na sterownik PLC	16
4.	Projektowanie linii produkcyjny	17
4.1.	Założenia projektowe.....	17
4.2.	Połączenie Factory I/O ze sterownikiem	19
4.3.	Tworzenie aplikacji PanelView Plus	20
5.	Algorytm działania programu.....	21
5.1.	Stacja CNC	21
5.1.1.	Opis algorytmu	21
5.2.	Stacja segregująca materiał według koloru	23
5.2.1.	Opis algorytmu	24
5.3.	Stacja przenosząca elementy na paletę	29
5.3.1.	Opis algorytmu	29
5.4.	Stacja scalająca dwie linie transportowe	33
5.4.1.	Opis algorytmu	34
5.5.	Panel HMI.....	34
5.6.	Tryby pracy.....	36
6.	Przeźmiennik częstotliwości i silnik asynchroniczny	37
6.1.	Ogólne informacje na temat przeźmiennika częstotliwości	37
6.2.	Konfiguracja przeźmiennika częstotliwości	39
7.	Weryfikacja i walidacja	44
8.	Podsumowanie i wnioski	47
	Bibliografia.....	48
	Spis skrótów i symboli	50
	Lista dodatkowych plików, uzupełniających tekst pracy	51
	Spis rysunków	52
	Spis tablic	54

1. Wstęp

Wraz z rozwojem technologii, rozwinęła się potrzeba dziedziny inżynierii, jaką jest automatyka procesowa. Znajduje ona swoje zastosowanie w szerokich gałęziach przemysłu, wręcz jest nierozłączną częścią współczesnego przemysłu przez postępującą robotyzację procesów produkcyjnych. Zmierza się ona z zagadnieniami napotkanymi przy sterowaniu instalacjami, takimi jak pomiary wielkości fizycznych, zastosowaniem urządzeń wykonawczych, projektowaniem fabryk, sterowaniem jakością. Podstawowym zadaniem automatyki procesowej jest sterowanie procesami tak, aby spełniały założenia projektowe. Równie ważne jest bezpieczeństwo pracowników obsługujących linię produkcyjną. Im bardziej zaawansowane urządzenia, tym bardziej złożonego sterowania potrzebują oraz zwiększa się prawdopodobieństwo niespodziewanych zachowań obiektu. Współcześnie, wszystkie przedsięwzięcia kładą nacisk na dbałość o szczegóły projektu. Podczas tworzenia projektu, analizuje się każdy szczegół, zanim powstanie rzeczywista instalacja. W tym celu przeprowadzamy liczne testy i symulacje linii produkcyjnej w programach komputerowych, usprawniając proces projektowania i programowania linii. Dodatkowo, panel operatorski z programem HMI pozwala nam na nadzór nad procesami. To sprawia, że wprowadzanie procesów przemysłowych jest bardziej efektywne i bezpieczniejsze. Ten kierunek działania wpisuje się w koncepcję czwartej rewolucji przemysłowej. Przemysł 4.0 to integracja inteligentnych maszyn i urządzeń umiających autonomicznie wymieniać informacje, usprawnianie systemów automatyzacji procesów, wykorzystywanie algorytmów sztucznej inteligencji oraz cyfryzacja fabryki za pomocą Internetu rzeczy (ang. Internet of Things)[1].

Tematem pracy jest symulacja oraz sterowanie wirtualnej linii produkcyjnej, stworzonej w programie do nauki programowania, Factory I/O. Sterowanie symulacją będzie się odbywać za pośrednictwem sterownika CompactLogix 5370 z rodziny sterowników Allena Bradleya. Dodatkowo zostanie użyty fizyczny element wykonawczy, jakim jest silnik wraz z przemiennikiem częstotliwości PowerFlex 525 E2P. Projekt przedstawia możliwości symulacji, która jest jednym z filarów Przemysłu 4.0.

Zakres pracy wyglądał następująco: zapoznanie się ze środowiskiem Factory I/O, zaprojektowanie linii produkcyjnej, przetestowanie linii produkcyjnej przy użyciu control I/O, zapoznanie się z urządzeniami na stanowisku laboratoryjnym takimi jak przemiennik częstotliwości i silnik asynchroniczny, ustalenie sposobu działania algorytmu, napisanie programu na sterownik, przeprowadzanie testów programu, wprowadzanie zmian w programie, zapoznanie się z programem FactoryTalk, utworzenie programu na panel HMI, uwzględnienie fizycznych przycisków i świateł w programie.

Drugi rozdział dotyczy analizy tematu i urządzeń użytych w projekcie inżynierskim. Szczegółowy opis stanowiska laboratoryjnego wraz z przedstawieniem sposobu zastosowania urządzeń wykonawczych.

Trzeci rozdział zawiera deskrypcję użytych programów do przeprowadzenia projektu. Zawiera spis funkcji programu Factory I/O. Przedstawia programy użyte do programowania sterownika oraz zaprojektowanie HMI.

Czwarty rozdział obejmuje opis projektowania symulacji. Wyszczególnia elementy instalacji wraz z objaśnieniem roli w symulacji. Pokazuje sposób łączenia symulacji z sterownikiem PLC.

W piątym rozdziale został przedstawiony algorytm działania obiektu wraz z opisem obiektu, schematem blokowym oraz program na panel operatorski HMI.

Szóstym rozdział tyczy się do konfiguracji przemiennika częstotliwości.

Siódmy rozdział zawiera opis sposobu walidacji i weryfikacji programu. Znajduje się tam uzasadnienie użytych rozwiązań. Wskazuje na napotkane problemy przy pracy nad projektem.

Ósmy rozdział zawiera podsumowanie oraz wnioski, przedstawia dalszy kierunek rozwoju projektu.

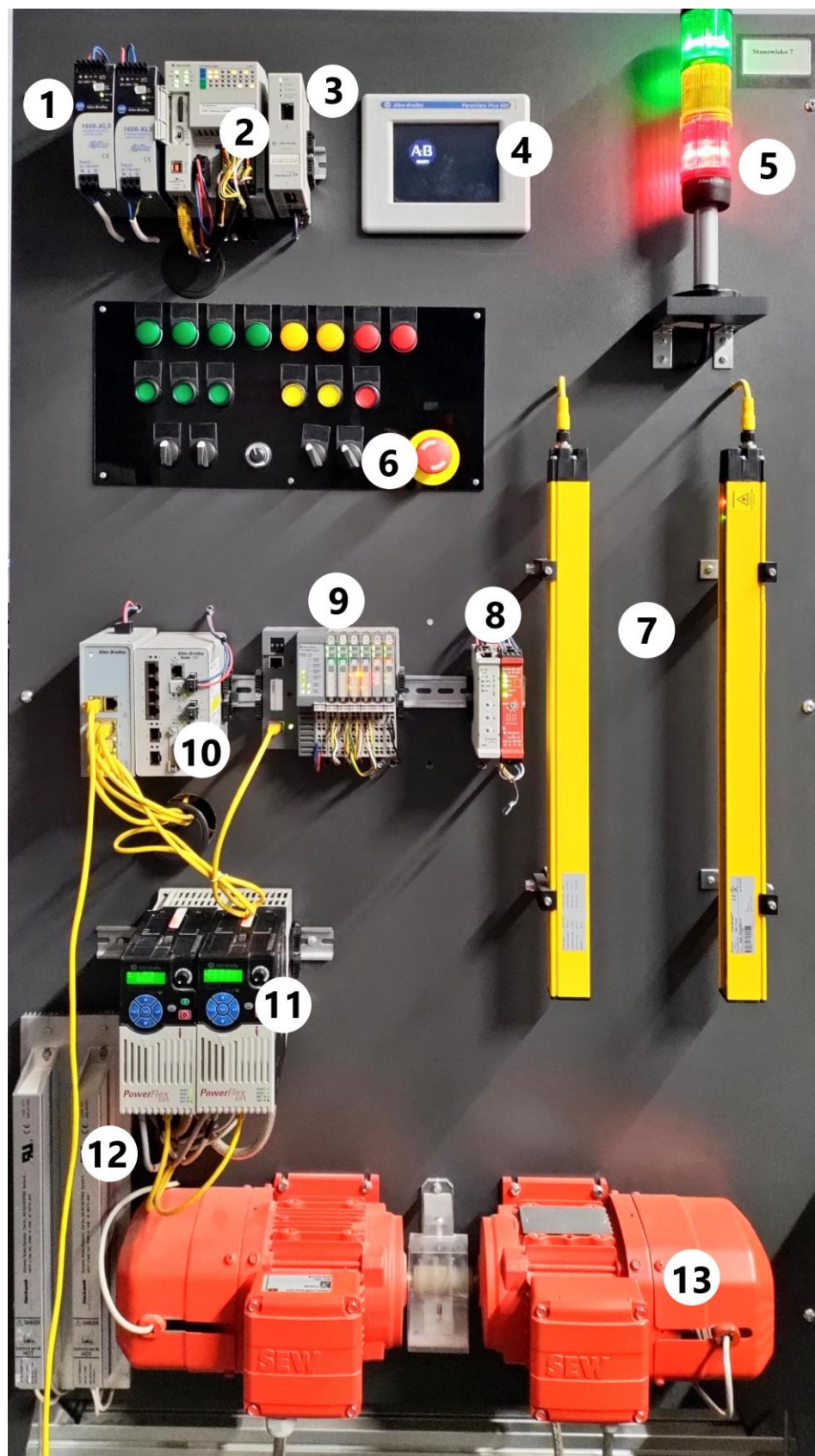
2. Analiza tematu

Ważnym elementem pisania programu na sterownik PLC jest sprawdzenie poprawności kodu. Aby usprawnić proces testowania kodu, można użyć programu, który symuluje działanie rzeczywistych obiektów. Zaletami tego rozwiązania jest wykrycie błędów na początkowym etapie programowania, przez co proces pisania programu się skraca. Pozwala nam również na zdalne programowanie sterowników, a następnie poprawienie ewentualnych niedociągnięć na rzeczywistej linii. Umożliwia nam również lepsze zrozumienie sposobu działania za sprawą wizualizacji linii. Tor ruchu przemieszczających się elementów nie zawsze można łatwo przewidzieć. Aby przybliżyć nam zachowanie produktów, program oblicza sposób przemieszczania się elementów. Dzięki temu możemy zapobiec wypadaniu produktu z taśmy lub zaklinowania się produktu. Zdecydowanie wygodniej jest programować toru ruchu maszyny np. o trzech osiach, jeśli ma się do dyspozycji wizualizację. Pomaga ona w uniknięciu kolizji oraz błędnych położeń końcówki.

Praca została wykonana na stanowisku ze urządzeniami Rockwell Automation. Na stanowisku mamy do dyspozycji:

- Dwa zasilacze 1606-XLS (Rys. 2.1, nr 1)
- Sterownik CompactLogix 5370 (Rys. 2.1, nr 2)
- Panel operatora PanelView Plus 1000 (na zdjęciu PanelView Plus 600) (Rys. 2.1, nr 4)
- Kolumna świetlna (Rys. 2.1, nr 5)
- Zestaw świateł i przycisków (Rys. 2.1, nr 6)
- Optoelektroniczna kurtyna bezpieczeństwa (Rys. 2.1, nr 7)
- Przekaznik bezpieczeństwa (Rys. 2.1, nr 8)
- Wyspa z modułami wejść oraz wyjść (Rys. 2.1, nr 9)
- Przemysłowe przełącznik sieciowy/ switche Stratix 5700, Stratix 2000, 1783-etap (Rys. 2.1, nr 10 i nr 3)
- Dwa przemienniki częstotliwości PowerFlex 525 (Rys. 2.1, nr 11)
- Dwa rezystory hamujące (Rys. 2.1, nr 12)
- Dwa silniki synchroniczne (Rys. 2.1, nr 13)

Nie użyto wszystkich wymienionych elementów. W dalszej części pracy użyte elementy zostały bardziej szczegółowo opisane.



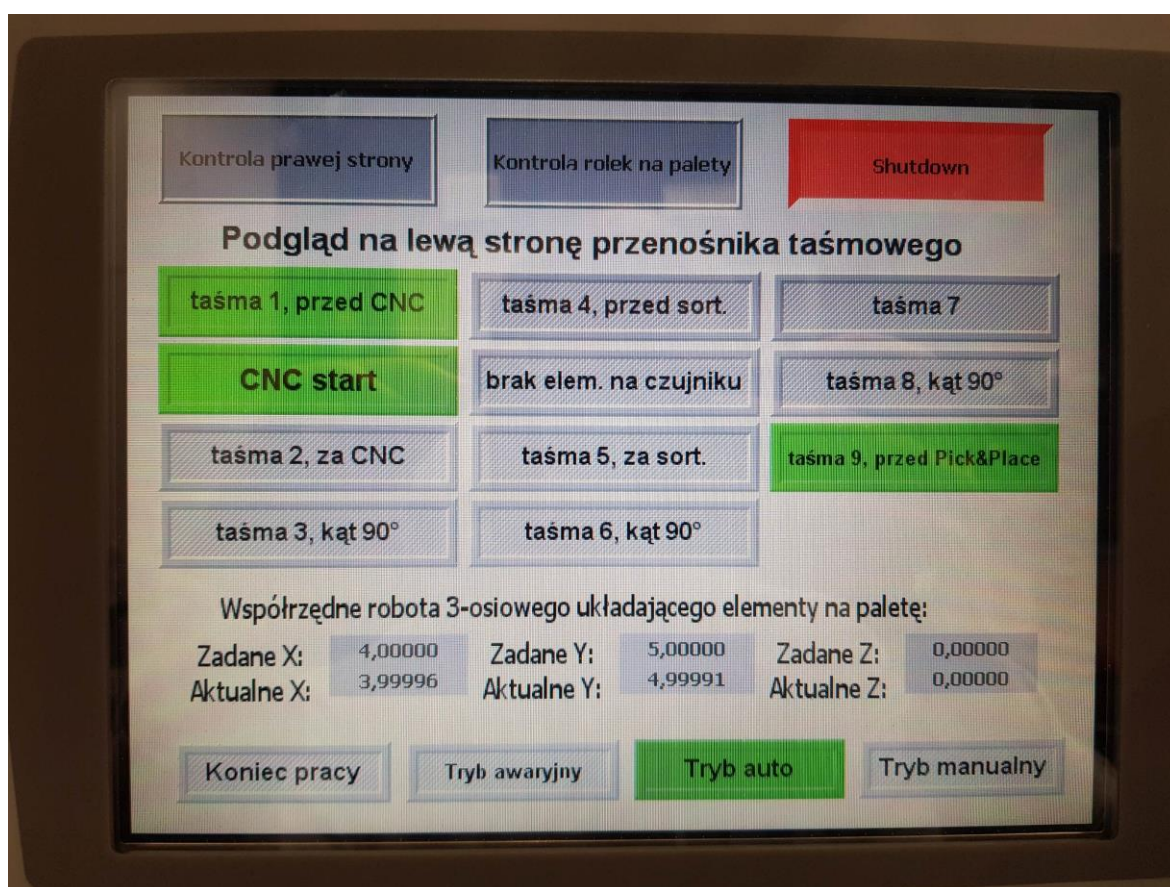
Rys. 2.1 Stanowisko laboratoryjne

2.1. Sterownik

Program został napisany na sterownik CompactLogix 5370. Kompaktowość sterownika polega na zintegrowanych modułach wejść i wyjść, modułu komunikacyjnego wbudowanym zasilaczu sterownika. Sterownik znajduje swoje zastosowanie przy obiektach o małej i średniej złożoności. Sterownik łączy się z innymi elementami instalacji za pomocą protokołu sieci przemysłowej EtherNet/IP. Sterownik wspiera topologię Device Level Ring (DLR), która zwiększa odporność sieci na zakłócenia [2].

2.1. Panel HMI PanelView Plus 1000

Panel operatorski (Rys. 2.2) pełni funkcję podglądu na zachodzące procesy jak i ręcznego sterowania w trybie manualnym. Panel znajduje się na sąsiednim stanowisku. Wybrano większy panel ze względu na ilość potrzebnych przycisków. Panel posiada ekran dotykowy i nie dysponuje dodatkowymi przyciskami fizycznymi wokół ekranu.



Rys. 2.2 PanelView Plus 1000, Panel HMI użyty w projekcie

2.2. EtherNet/IP

Protokołu sieci przemysłowej EtherNet/IP został opracowany przez Rockwell Automation. Zawiera protokół CIP (Common Industrial Protocol) i dwa tryby transmisji danych. Dane, które są krytyczne czasowo, są przesyłane za pomocą protokołu UDP (komunikacja niejawna), natomiast reszta danych jest przesyłana za pomocą protokołu TCP (komunikacja jawna). Dane wysyłane protokołem UDP mają wysoki priorytet i wymiana danych odbywa się cyklicznie. Synchronizacja zegara sieci Ethernet odbywa się za pomocą protokołu PTP, RA nazwał swoją wersję protokołu CIPsync [3]. Dokładność synchronizacji między dwoma urządzeniami jest mniejsza niż 100 ns. Nadaje się do użycia w automatyce przemysłowej, gdzie precyzja zegara jest bardzo istotna [4].

2.3. Przekształtnik częstotliwości oraz silnik asynchroniczny

Dopełnieniem symulacji jest sterowanie fizycznym elementem wykonawczym. Zdecydowano się na sterowanie przekształtnikiem częstotliwości PowerFlex 525 i silnikiem 3-fazowym asynchronicznym SEW-EURODRIVE. Silnik obraca się, gdy przekształtnik dostanie sygnał o ruchu jednej z taśm transportowych.

2.4. Przekładnik bezpieczeństwa

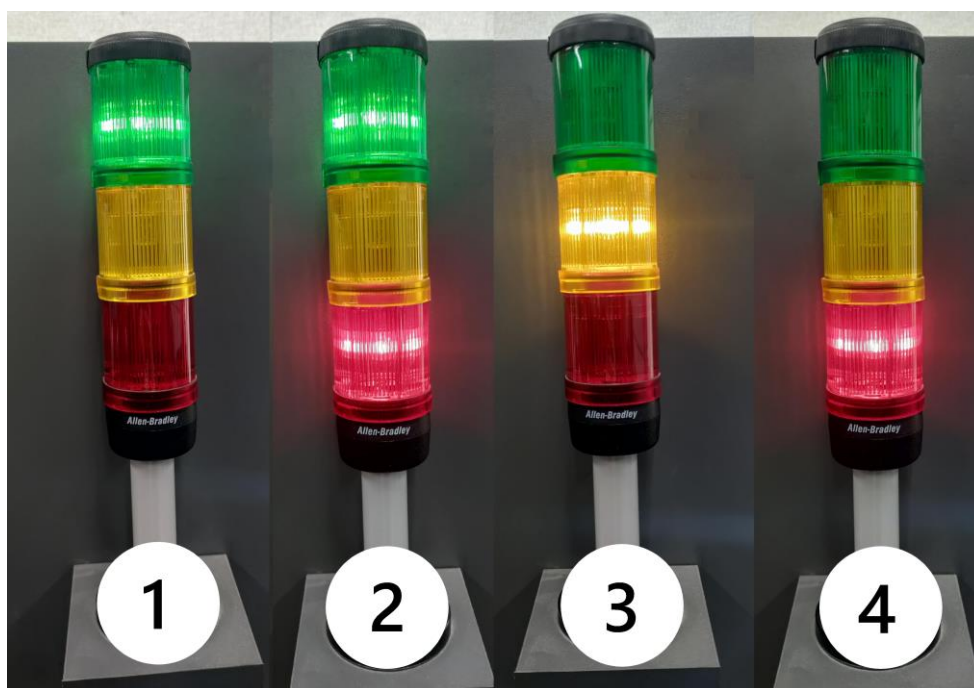
Po włączeniu przycisku bezpieczeństwa (Rys.2.3, nr 4), przekładnik bezpieczeństwa zatrzymuje całą linię produkcyjną. Ponowne rozpoczęcie ruchu odbywa się po odcisnięciu przycisku bezpieczeństwa i przyciśnięciu przycisku start (Rys.2.3, nr 1)

2.5. Kolumna świetlna oraz przyciski

Kolumna posiada trzy różnobarwne światła. Zielone światło oznacza włączony tryb automatyczny (Rys.2.4, nr 1). Zielone i czerwone światło zapalone jednocześnie oznacza tryb końca pracy (Rys.2.4, nr 2). Żółte światło oznacza tryb manualny (Rys.2.4, nr 3). Czerwone światło oznacza tryb awaryjny (Rys.2.4, nr 4). Drugi od lewej zielony przycisk włącza tryb manualny (Rys.2.3, nr 2), czerwony tryb końca pracy (Rys.2.3, nr 3).



Rys. 2.3 Przyciski na stanowisku laboratoryjnym



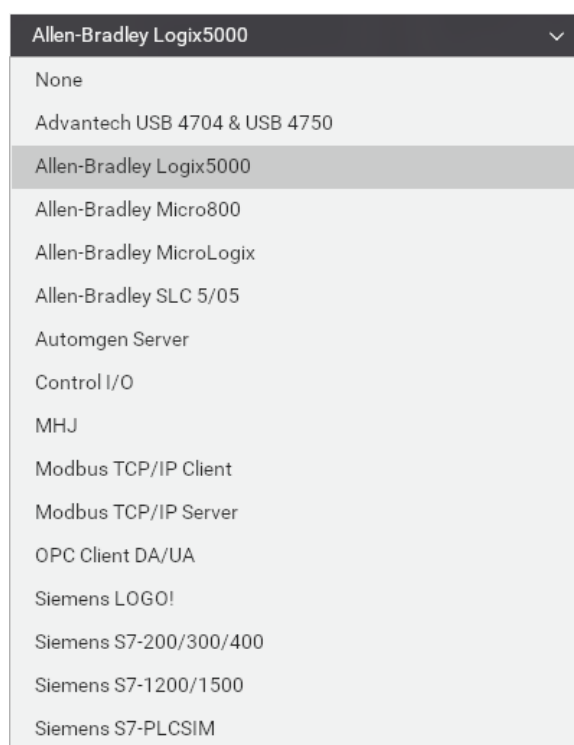
Rys. 2.4 Kolumna świetlna na stanowisku, różne konfiguracje

3. Narzędzia i metody wykorzystane w pracy

3.1. Wirtualny rozruch – opis oprogramowania symulacyjnego Factory I/O

Wizualizację linii produkcyjnej wykonano w programie Factory I/O, który jest narzędziem do nauki programowania PLC. Nie jest stosowany przy projektowaniu rzeczywistej linii produkcji. Jest to spowodowane małą ilością elementów oraz ograniczoną konfiguracją linii. Do takich zadań nadają się profesjonalne programy jak Arena Simulation wprowadzony na rynek przez Rockwell Automation.

Factory I/O zapewnia nam trójwymiarową wizualizację procesu produkcyjnego, który jest sterowany połączonym do niego sterownikiem. Producent oprogramowania przewidział stosowanie różnych sterowników (Rys. 3.1). W bibliotece programu znajdują się podstawowe elementy linii produkcyjnej takie jak: taśmy transportowe dla ciężkich oraz lekkich elementów, stacje CNC, stacje składające, przyciski, czy czujniki.



Rys. 3.1 Sterowniki do wyboru w Factory I/O

Symulację zaczynamy przyciskając przycisk *run mode*, zatrzymujemy *pause the simulation* i rozpoczynamy na nowo symulację *reset the simulation* (Rys.3.2) . Dodatkowo jest dostępna funkcja zmieniania skali czasu. Trzeba jednak pamiętać, aby uwzględnić zmienną float wejściową skali czasu, w przeciwnym razie odmierzany czas przez timer nie będzie się zgadzał ze symulacją.



Rys. 3.2 Sterowanie symulacją

Program przewiduje 4 rodzaje poruszania się po symulacji [5]:

- *orbit camera* – (Rys.3.3 pierwszy przycisk od lewej) obraca się wokół zaznaczonego przez nas punktu, dzięki czemu jest najbardziej odpowiednia podczas tworzenia scen. W tym trybie nawigacji możemy przechodzić przez obiekty.
- *fly camera* - (Rys.3.3 drugi przycisk od lewej) służy do swobodnego poruszania się po symulacji. Kamera kolduje z częściami sceny, ale nie jest wykrywana przez czujniki.
- *first person camera* – (Rys.3.3 trzeci przycisk od lewej) symuluje widok osoby o wzroście 180 cm
- *follow a part* - (Rys.3.3 czwarty przycisk od lewej) Po zaznaczeniu i kliknięciu wybranego elementu symulacji, kamera podąża za materiałem.

Poszczególne pozycje kamery można zapisać za pomocą zakładki *Cameras Window* (Rys.3.3 czwarty przycisk od prawej).








Rys. 3.3 Pasek opcji wyświetlania symulacji

Każdy czujnik lub urządzenie posiada jeden, lub więcej znaczników zwanymi tagami. Tagi są używane do łączenia wartości urządzeń i czujników ze sterownikiem. Program przewiduje możliwość ręcznego sterowania urządzeniami. Aby zobaczyć przypisane tagi do urządzenia należy przycisnąć *Actuator tags* dla urządzeń wykonawczych (Rys.3.3 drugi przycisk od prawej), *sensor tags* dla znaczników czujników (Rys.3.3 trzeci przycisk od prawej).

Tag składa się z nazwy i wartości. Podczas tworzenia sceny nazwy są automatycznie przypisywane do tagów. Znaczniki mogą mieć trzy różne typy danych w zależności od typu i konfiguracji czujników i urządzeń: Bool dla wartości aktywny/nie aktywny, Float dla liczb rzeczywistych i Int dla liczb całkowitych.

Ponadto, gdy tagi są wyświetlone, można zmienić nazwę, wymusić wartości i wstrzyknąć na nich błędy (tabela 1). Podczas wymuszania znacznika urządzenia, nadpisuje on wartość odczytaną ze sterownika. Wstrzykiwanie awarii jest przydatne, aby rozpatrzeć sytuację, gdy jeden z elementów się uszkodzi. Rozwiązaniem może być alarm, który powiadamia operatorów o usterce oraz przerywa działania linii. Ta modyfikacja w programie może zminimalizować straty.

Tabela 1 Wykaz oznaczeń przy tagach urządzeń

Oznaczenie	Opis
	Poprawne działanie
	Awaria urządzenia, zawsze aktywne
	Awaria urządzenia, zawsze nieaktywne
 FORCED	Wymuszone włączenie
 FORCED	Wymuszone wyłączenie

3.2. Opis oprogramowania do pisania programu na sterownik PLC

Praca została wykonana przy użyciu sterownika Allen-Bradley CompactLogix 5370 firmy Rockwell Automation. Do programowania sterowników tej firmy używa się środowiska programistycznego Studio 5000. Środowisko programistyczne zapewnia nam programowanie w 4 różnych językach: ST, LAD, FBD, SFC. Do realizacji projektu został użyty język drabinkowy LAD oraz strukturalny ST.

HMI, czyli *human machine interface* został utworzony w programie FactoryTalk. Interface komunikuje się ze sterownikiem w obie strony. Na HMI znajdują się przyciski oraz oznaczenia sygnalizujące aktywność elementu.

4. Projektowanie linii produkcyjny

4.1. Założenia projektowe

Praca nad projektem zaczęła się od stworzenia zarysu obiektu i realizacji w programie Factory I/O. Na rysunku 4.1 została pokazana linia. Ustalono, iż linia będzie obrabiać kolorowe elementy, segregować według koloru, a następnie pakować po 4 elementy na paletę. Na końcu dwie taśmy łączą się za pomocą przenośnika łańcuchowego.



Rys. 4.1 Linia produkcyjna zaprojektowana w Factory I/O

Zaprojektowaną linię produkcyjną możemy podzielić na poszczególne segmeny:

- Stacje CNC,
- linia transportowa separująca według kolorów materiału,
- trzyosiowe stacje Pick&Place,
- przenośniki łańcuchowe łączące dwie linie transportowe w jedną

Same elementy wykonawcze nie mogłyby dobrze funkcjonować bez ważnego komponentu, jakimi są czujniki. Obiekt został wyposażony w różnego rodzaju czujniki:

- czujnik pojemnościowy, można znaleźć przy stacji łączącej dwie linie transportowe w jedną, służy do określenia czy paleta dojechała do krańca
- czujnik dyfuzyjny optyczny, pojawiają się na wyjściu przy sortowaniu oraz przy stacji do złączania dwóch linii
- czujnik wizyjny, umiejscowiony przed sortowaniem produktów, na podstawie informacji z tego czujnika możemy określić, jakiego koloru znajduje się produkt pod czujnikiem
- czujnik retrorefleksyjny, najczęściej pojawiający się czujnik, sygnalizuje pojawienie się artykułu, posiada odwrotną logikę, tzn., gdy nie wykrywa obiektu jest w stanie wysokim (1), gdy wykryje obiekt jest w stanie niskim (0)

Na początku obiektu dwa emiterzy przed stacją CNC emitują materiały o zielonym lub niebieskim kolorze, natomiast na końcu linii transportowej usuwamy paletę wraz z obrobionymi elementami za pomocą modułu „remover”.

Ważnym elementem jest panel operatorski. W symulacji dodano skrzynkę elektryczną z przyciskami, służy do sterowania trybami ruchu obiektu. Dodatkowo do symulacji dołączono Panel HMI. Na panelu w symulacji (Rys.4.2) znajdują się 4 przyciski:

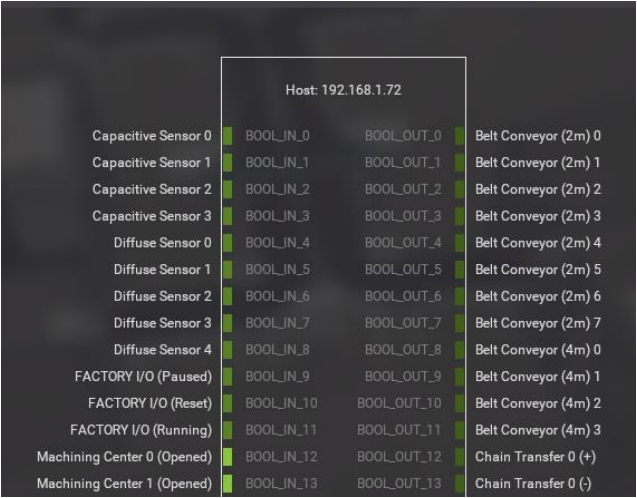
- zielony - startu, który włącza tryb automatyczny
- czerwony - przycisk, który przyciska się na koniec dnia pracy, linia wyłącza się po przejechaniu wszystkich elementów z linii transportowej
- emergency - przycisk bezpieczeństwa
- żółty - tryb serwisowy, linia momentalnie wyłącza się, za pomocą HMI można poruszać poszczególnymi urządzeniami



Rys. 4.2 Przyciski na skrzynce elektrycznej

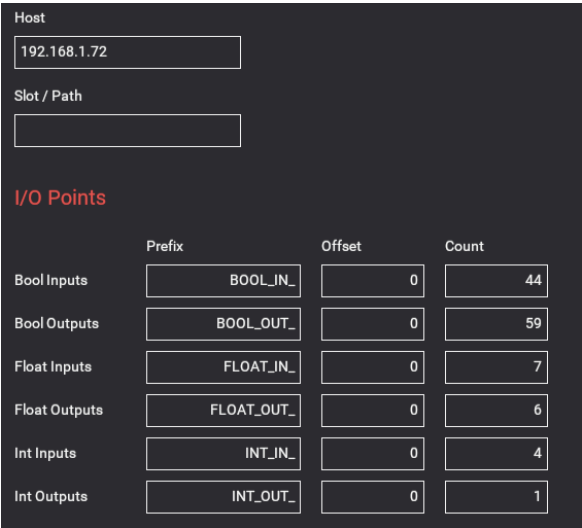
4.2. Połączenie Factory I/O ze sterownikiem

Aby poprawnie połączyć Factory I/O ze sterownikiem, musimy podać adres IP Hosta, czyli sterownika. Następnie przypisać tagi do poszczególnych wejść/wyjść (Rys.4.3) . Może się zdarzyć, iż domyślna ilość zarezerwowanych wejść/wyjść nie wystarcza, wtedy można zdefiniować potrzebną ilość wejść/wyjść, a także można nadać prefiks (Rys.4.4). Utworzone wejścia i wyjścia należy zadeklarować w tabeli tagów w studio 5000, a następnie wgrać do sterownika. Po wykonaniu tych kroków jesteśmy gotowi połączyć się ze sterownikiem w trybie RUN, w naszym przypadku poprzez Ethernet.



Host: 192.168.1.72			
Capacitive Sensor 0	BOOL_IN_0	BOOL_OUT_0	Belt Conveyor (2m) 0
Capacitive Sensor 1	BOOL_IN_1	BOOL_OUT_1	Belt Conveyor (2m) 1
Capacitive Sensor 2	BOOL_IN_2	BOOL_OUT_2	Belt Conveyor (2m) 2
Capacitive Sensor 3	BOOL_IN_3	BOOL_OUT_3	Belt Conveyor (2m) 3
Diffuse Sensor 0	BOOL_IN_4	BOOL_OUT_4	Belt Conveyor (2m) 4
Diffuse Sensor 1	BOOL_IN_5	BOOL_OUT_5	Belt Conveyor (2m) 5
Diffuse Sensor 2	BOOL_IN_6	BOOL_OUT_6	Belt Conveyor (2m) 6
Diffuse Sensor 3	BOOL_IN_7	BOOL_OUT_7	Belt Conveyor (2m) 7
Diffuse Sensor 4	BOOL_IN_8	BOOL_OUT_8	Belt Conveyor (4m) 0
FACTORY I/O (Paused)	BOOL_IN_9	BOOL_OUT_9	Belt Conveyor (4m) 1
FACTORY I/O (Reset)	BOOL_IN_10	BOOL_OUT_10	Belt Conveyor (4m) 2
FACTORY I/O (Running)	BOOL_IN_11	BOOL_OUT_11	Belt Conveyor (4m) 3
Machining Center 0 (Opened)	BOOL_IN_12	BOOL_OUT_12	Chain Transfer 0 (+)
Machining Center 1 (Opened)	BOOL_IN_13	BOOL_OUT_13	Chain Transfer 0 (-)

Rys. 4.3 Przypisywanie wejść i wyjść



Host			
192.168.1.72			
Slot / Path			
I/O Points			
	Prefix	Offset	Count
Bool Inputs	BOOL_IN_	0	44
Bool Outputs	BOOL_OUT_	0	59
Float Inputs	FLOAT_IN_	0	7
Float Outputs	FLOAT_OUT_	0	6
Int Inputs	INT_IN_	0	4
Int Outputs	INT_OUT_	0	1

Rys. 4.4 Konfiguracja wejść i wyjść, pole do wpisywania adresu IP

4.3. Tworzenie aplikacji PanelView Plus

Aby utworzoną aplikację wgrać na panel i skomunikować panel ze sterownikiem należy wykonać następujące kroki [6]. W organizerze FactoryTalk View rozwinąć zakładkę RSLinx Enterprise podwójnym kliknięciem otworzyć *Communication Setup*. Otworzy się okno z konfiguracją ścieżki z komputera do sterownika. Należy odszukać interesujący nas sterownik, zaznaczyć i zatwierdzić przyciskiem *add* i *apply*. Konfigurację połączenia panelu ze sterownikiem ustawiamy w zakładce *runtime*. Dla naszego projektu Design oraz Runtime łączy się z tym samym sterownikiem. Następny krok będzie wymagać sterownika w trybie *run*. Projekt trzeba zapisać za pomocą przycisku *Transfer Utility*. Po przyciśnięciu *run application* wybieramy panel, na którym chcemy wyświetlać HMI. Pobieramy na panel operatorski. Załadowanie interfejsu zajmuje chwilę. Po włączeniu panelu wybieramy pobrany interfejs. Po tej konfiguracji powinien działać panel HMI.

5. Algorytm działania programu

5.1. Stacja CNC



Rys. 5.1 Stacja CNC

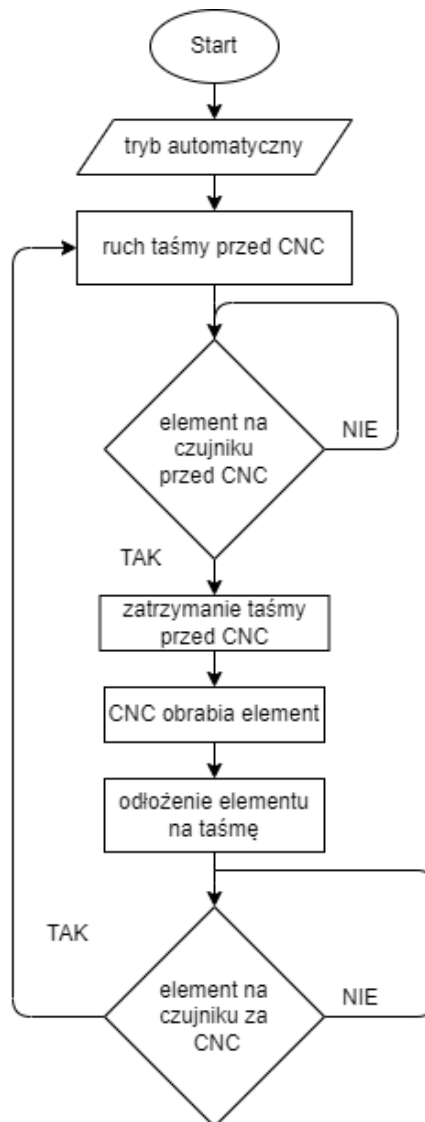
Opis stacji CNC (Rys. 5.1) od lewej: panel sterowania CNC, emiter surowych zielonych lub niebieskich materiałów, czujnik retrofleksyjny na końcu taśmy, CNC wraz z czujnikiem wizyjnym na wejściu, czujnik retrofleksyjny na wyjściu ze stacji CNC.

Charakterystyczne dla tej stacji jest fakt, że powoduje wąskie gardło, czyli sytuację, w której pozostałe stanowiska czekają, aż ta stacja wypuści element. Jest to spowodowane czasem obrabiania elementu, który średnio trwa 3 lub 6 sekund w zależności od wycinanego elementu. Ma to wielki wpływ na dalszy przebieg linii, ponieważ elementy w pewnych częściach linii jadą pojedynczo. Zwiększa to czas od wyjścia ze stacji CNC do wyjazdu z fabryki.

5.1.1. Opis algorytmu

Emiter emituje zielone i niebieskie elementy. Taśma po naciśnięciu guzika start włącza się. Po wykryciu zbocza narastającego przez sensor (NC) przed CNC elementu taśma transportowa się zatrzymuje. Paczka zjeżdża ze zsypu wprost pod czujnik wizyjny, który jest dołączony do stacji CNC. Czujnik wykrywa obiekt. Robot powoli podjeżdża

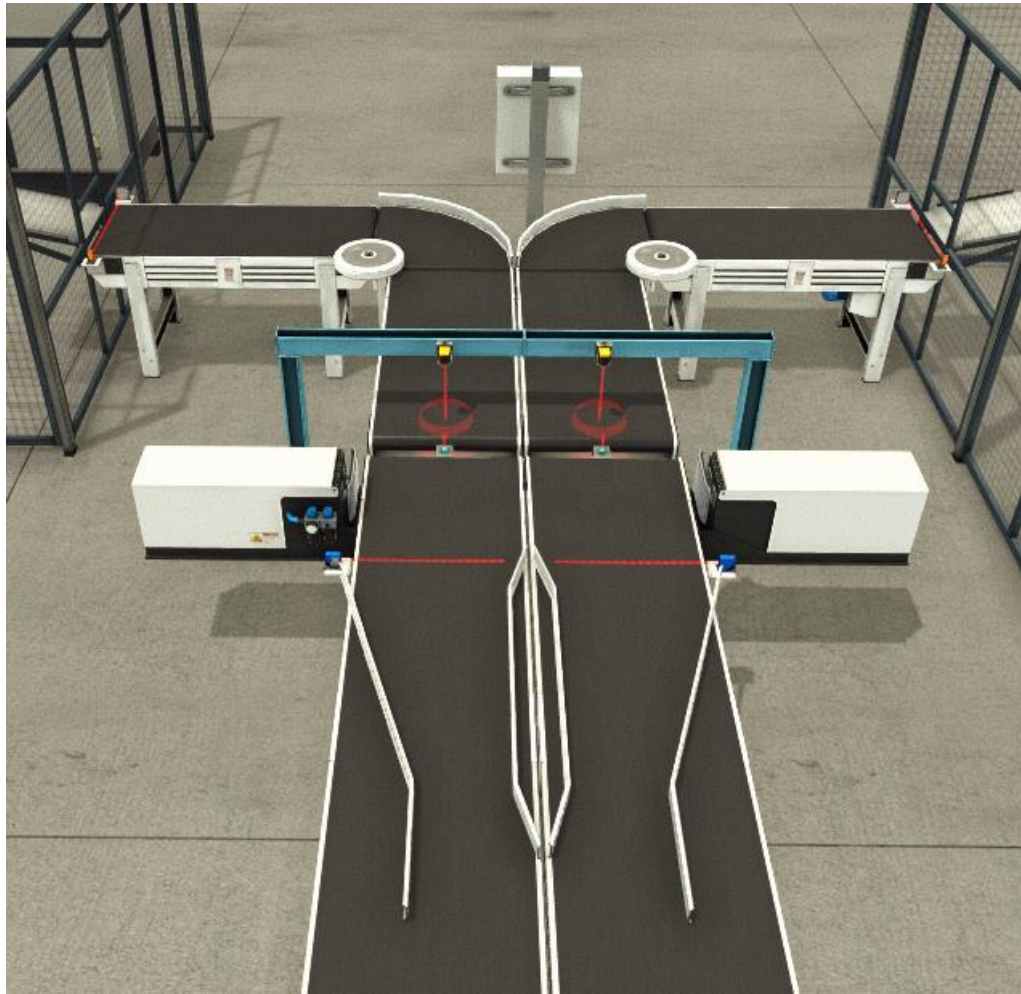
do materiału i podnosi. Po otwarciu drzwi do obrabiarki robot wsuwa materiał. Po obrobieniu materiału ramię zabiera materiał do zsypu na wyjściu ze stacji. Materiał się ześlizguje na taśmę transportową, aktywując czujnik retrofleksyjny. Po aktywacji czujnika następuje ponowienie ruchu taśmy przed CNC i 3 taśmy transportowych za CNC, z czego 2 pierwsze taśmy wyłączają się po określonym interwale czasowym od wykrycia zbocza na czujniku retrofleksyjnym na wyjściu z CNC. Schemat działania stacji CNC został przedstawiony na schemacie blokowym (Rys.5.2).



Rys. 5.2 Schemat blokowy opisanego programu, stacja CNC

Dla lepszego zrozumienia algorytmu zostały przygotowane schematy blokowe dla większości stacji. Przyciśnięcie guzika bezpieczeństwa lub przycisku trybu ręcznego kończy działanie algorytmów obojętnie, w jakim kroku się znajdujemy.

5.2. Stacja segregująca materiał według koloru



Rys. 5.3 Stacja do segregacji według koloru

Opis od wejścia stacji do wyjścia ze stacji segregującej według koloru (Rys.5.3):

- dwie taśmy: 2-metrowa i zaokrąglona, włączają się przy aktywacji czujnika retrofleksyjnego za Stacją CNC, wyłączają po określonym czasie przez timer,
- czujniki wizyjne nad taśmą transportową zawieszone na belce, określają kolor elementu, a następnie te wartości zostają zapisane,
- czujniki pojemnościowe, aktywują się przy wykryciu elementu nad nimi, sygnalizuje zjechanie produktu z poprzedniej taśmy,
- popychacze pneumatyczne, popychają elementy, jeśli nie znajdują się na właściwej taśmie.
- Czujniki dyfuzyjne, sygnalizują przejazd elementu, tym samym odblokowując stację sortującą.

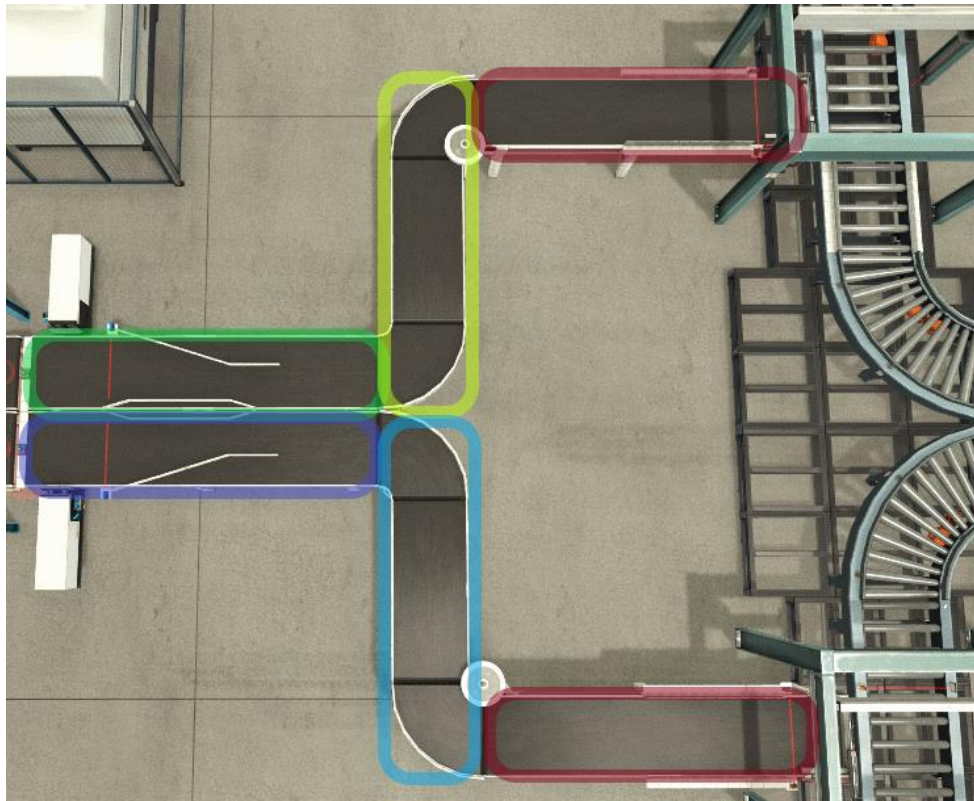
Celem tej stacji jest separacja materiałów według koloru. Do dyspozycji są 3 rodzaje elementów, zielony, niebieski oraz metalowy. Każdy z tych materiałów może zostać obrobiony przez CNC, co nam daje 9 unikalnych kombinacji (tabela 2). Czujnik przypisuje do każdej kombinacji numer i na podstawie tych liczb operujemy w środowisku programistycznym PLC.

Tabela 2, sposób kodowania poszczególnych elementów przez czujnik wizyjny

Rodzaj elementu	Binarne	Numeryczne
Brak elementu	0000	0
Niebieski surowy element	0001	1
Niebieska pokrywka	0010	2
Niebieska podstawa	0011	3
Zielony surowy element	0100	4
Zielona pokrywka	0101	5
Zielona podstawa	0110	6
Metalowy surowy element	0111	7
Metalowa pokrywka	1000	8
Metalowa podstawa	1001	9

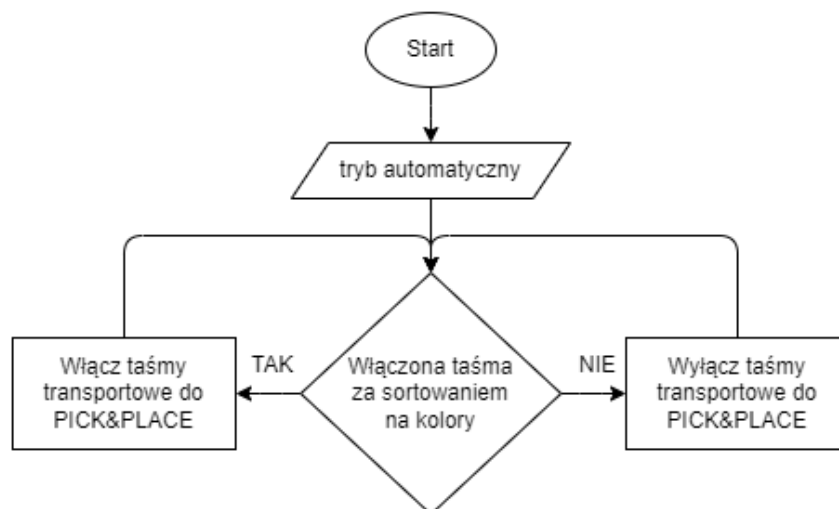
5.2.1. Opis algorytmu

Element spada ze zsypu, aktywując czujnik retrofleksyjny. Sygnał zbocza czujnika włącza 3 taśmy, z czego 2 wyłączają się po upływie timera (rys.5.6). Taśma przed popychaczami zatrzymuje się gdy na sąsiedniej stronie szybciej pojawił się element. Po przejechaniu za czujnik optyczny taśma się odblokowuje. Popychacze i taśmy transportowe aktywują się w zależności od koloru elementu (rys.5.7 i rys.5.8). Taśmy transportowe znajdujące się za stacją sortującą są zależne od taśmy transportowej na wysokości popychaczy. To znaczy, że jeśli ta taśma jest włączona, to tamte taśmy również. Wyjątkiem jednak jest taśma przed Pick&Place. Zależność ruchu opisuje Rys.5.4.



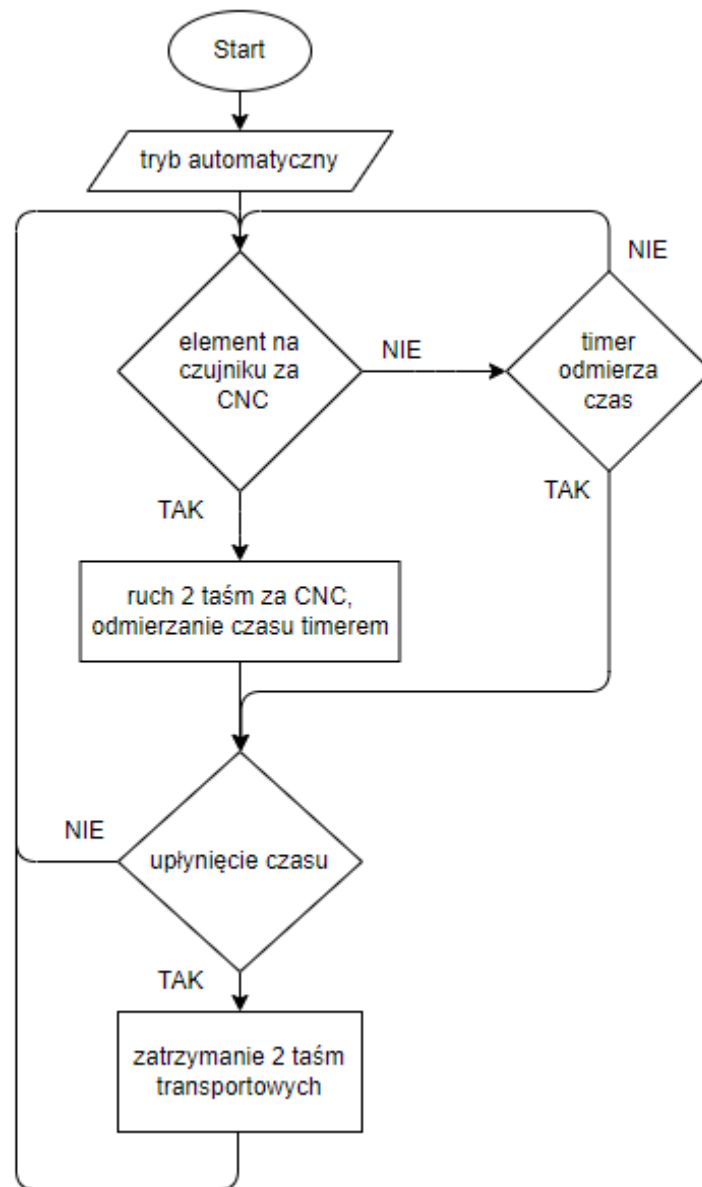
Rys. 5.4 Widok z góry na taśmy transportowe

Jasnym zielonym kolorem są zaznaczone taśmy transportowe zależne od ruchu taśmy transportowej zaznaczonej ciemnozielonym kolorem. Jasnym niebieskim kolorem są zaznaczone taśmy transportowe zależne od taśmy zaznaczonej kolorem indygo. Czerwonym kolorem są zaznaczone niezależne taśmy transportowe.



Rys. 5.5 Schemat blokowy taśm prowadzących do Pick&Place

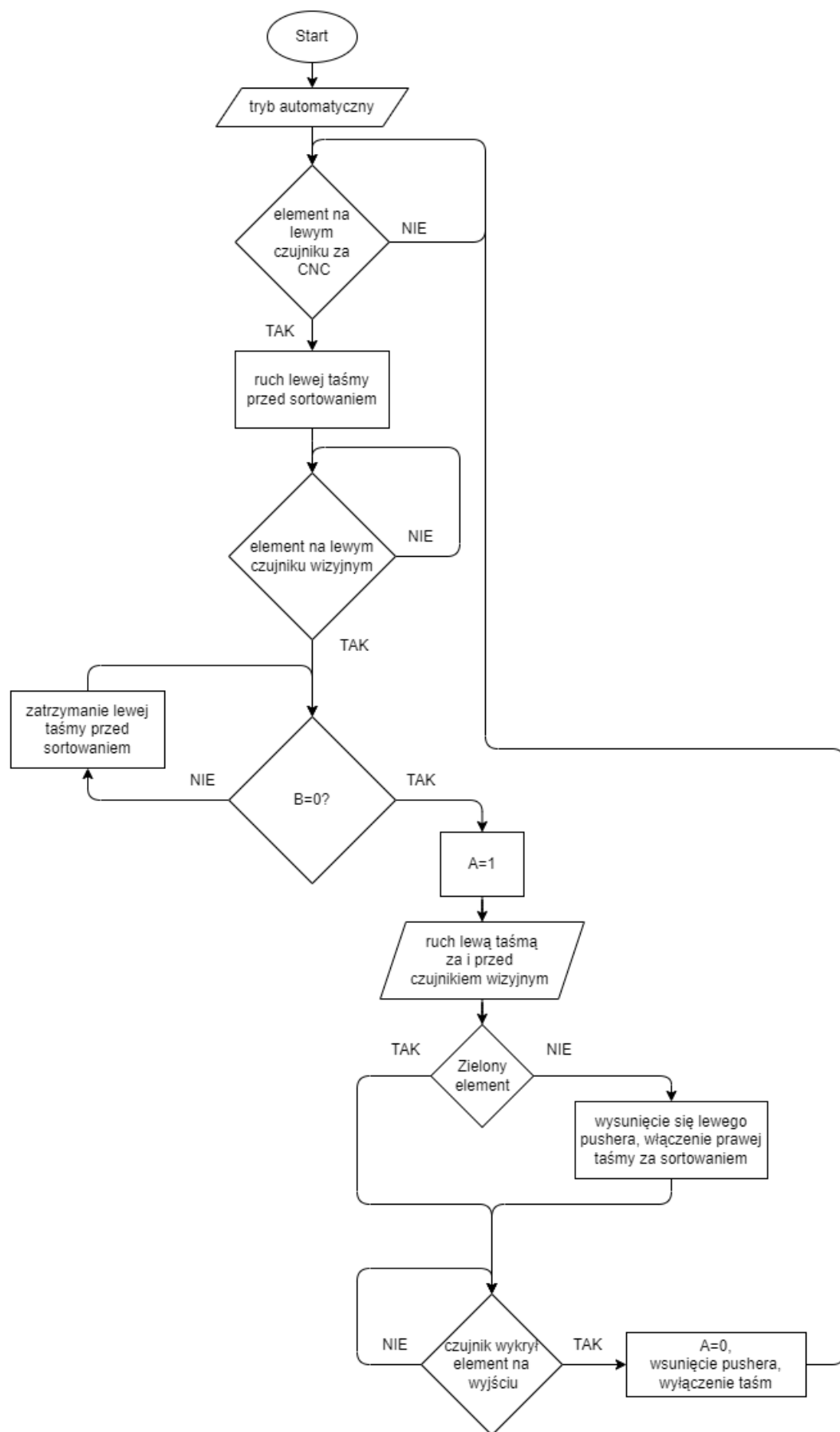
Wprowadzono (rys.5.5) ten rodzaj sterowania taśmą transportową, aby oszczędzić energię elektryczną. W trybie końca pracy (przycisk stop) taśmy transportowe prowadzące elementy do stacji Pick&Place są włączone przez cały czas trwania trybu.



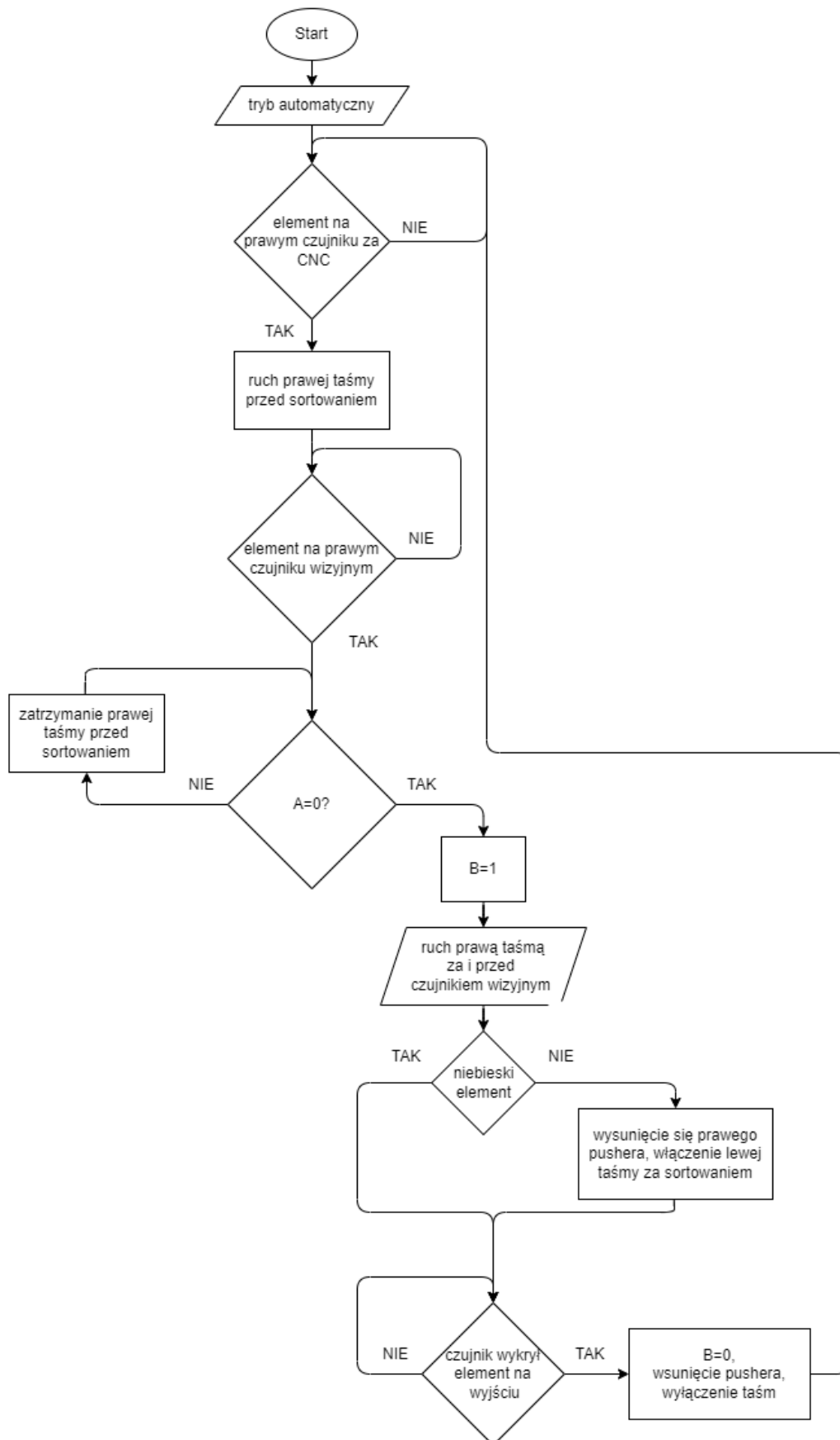
Rys. 5.6 Schemat blokowy ruchu taśm między CNC a stacją sortującą

Sposoby sterowania pusherem

Pusher jest wyposażony w dwa czujniki krańcowe wskazujące przednie i tylne granice. Zawiera również serwo, który może być używany do ustawiania i pomiaru położenia ramienia. Sterowanie może odbywać się za pomocą wartości cyfrowych lub analogowych w zależności od wybranej konfiguracji. W projekcie zastosowano sterowanie cyfrowe. Do wyboru mamy tryb szybki (4m/s, w porównaniu w zwyczajnym trybie 1m/s), bistabilny, analogowy i analogowo cyfrowy. W dwóch ostatnich można płynnie zmieniać prędkość a co za tym idzie odległość wypchnięcia paczki.

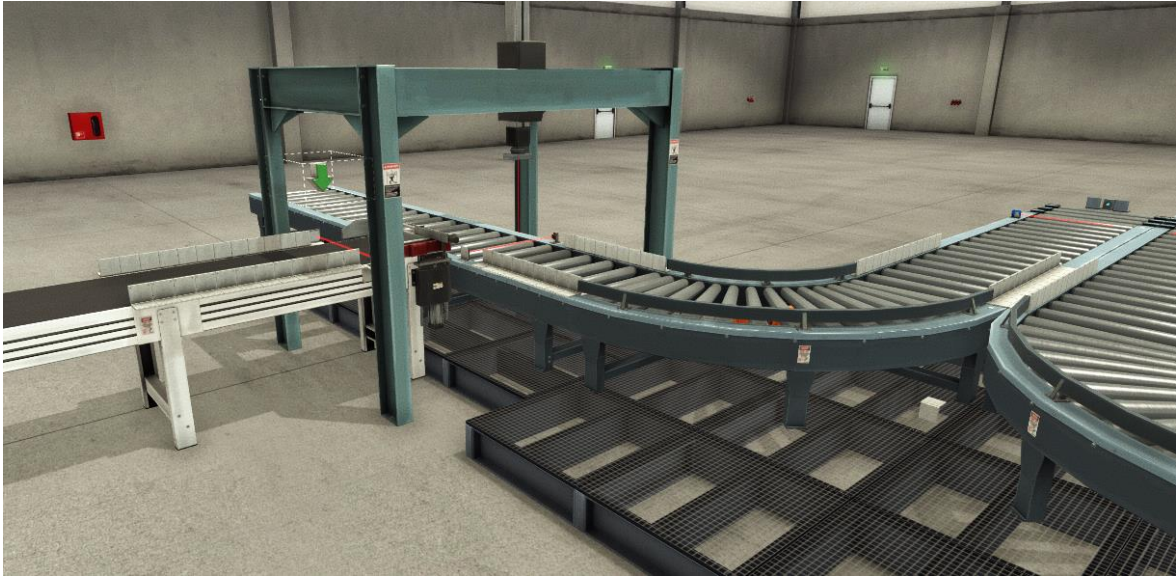


Rys. 5.7 Schemat blokowy taśm znajdujących się po lewej stronie



Rys. 5.8 Schemat blokowy taśm znajdujących się po prawej stronie

5.3. Stacja przenosząca elementy na paletę



Rys. 5.9 Stacja przenosząca elementy na paletę

Opis elementów stacji przenoszącej produkty na paletę (rys.5.9):

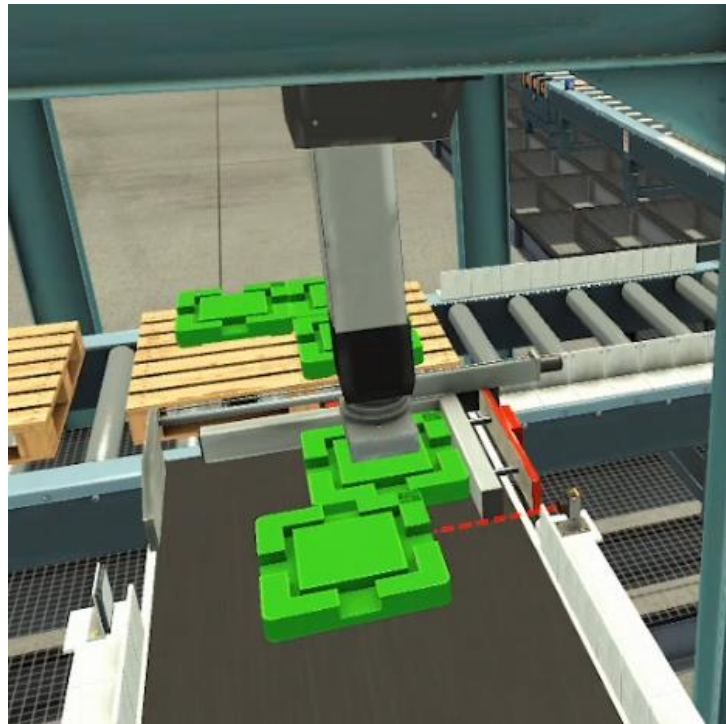
- Emiter emitujący palety
- Czujnik przed ramieniem pozycjonującym element, sygnalizuje przybycie nowego elementu do położenia na palecie
- Ramię pozycjonujące, zapewnia nam wymaganą precyzję ułożenia.
- Stacja 3-osiowa Pick&Place, zabiera element i opuszcza na paletę
- Czujnik sygnalizujący przybycie palety, kontroluje ruchem rolek.

5.3.1. Opis algorytmu

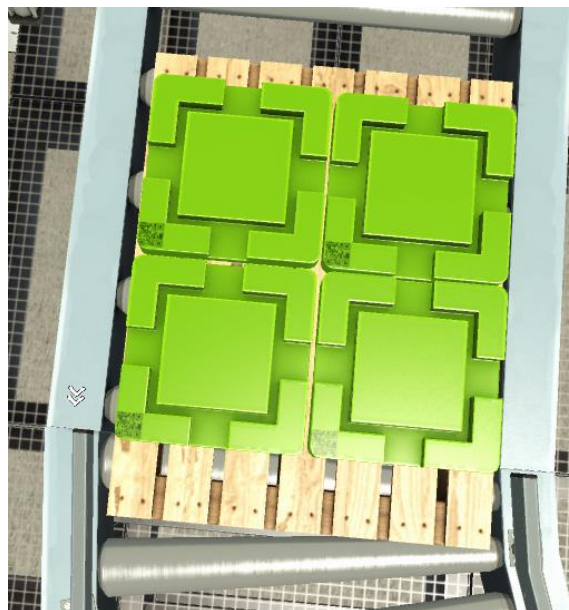
Element jedzie na taśmie transportowej, aktywuje czujnik przed ramieniem pozycjonującym. Jeśli czujnik został aktywowany oraz na rolkach transportowych pod Pick&Place nie ma pełnej palety, aktywuje się timer. Po upływie czasu na timerze wyłącza się taśma transportowa. Ramię Pick&Place ustawia się nad elementem. Ramię pozycjonera ściska element, tak, aby jego pozycja była precyzyjna. Ramię Pick&Place obniża się, po wykryciu elementu przez głowicę, łapie element i przenosi na paletę (Rys.5.10). Ruch taśmy się wznowia. Rolki transportowe włączają się wtedy, gdy nie ma palety na czujniku przy rolkach transportowych, został ustawiony ostatni czwarty element na

palecie lub też jesteśmy w trybie końca pracy, nic nie aktywowało czujnika przed Pick&Place przez 2 min i mamy, co najmniej jeden element na palecie. Włączone rolki przesuwają paletę do przodu (Rys.5.11).

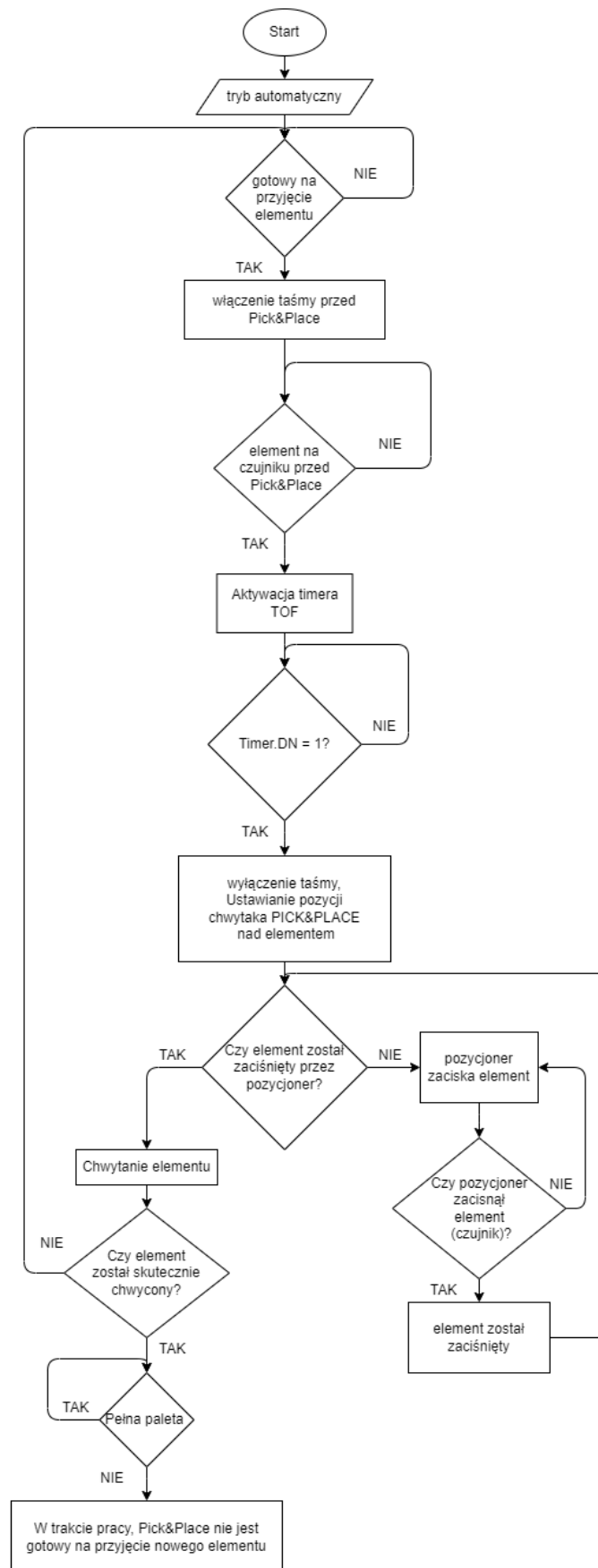
Na rysunku 5.12 i 5.13 został przedstawiony schemat blokowy programu dotyczącego stację Pick&Place



Rys. 5.10 Ułożenie elementów na palecie, widok z boku



Rys. 5.11 Ułożenie elementów na palecie, widok z góry



Rys. 5.12 Schemat blokowy Pick&Place cz.1



Rys. 5.13 Schemat blokowy Pick&Place cz.2

5.4. Stacja scalająca dwie linie transportowe



Rys. 5.14 Stacja scalająca dwie linie transportowe

Opis od wejścia do wyjścia elementów ze stacji scalającej linie transportowe (Rys.14):

- czujniki optyczne na wejściu do stacji łączącej, wykrywa paletę, zatrzymuje sąsiednią stronę, jeśli wykryje paletę
- stacja łącząca z łańcuchami, ma cztery różne opcje ruchu, do przodu, do tyłu na rolkach oraz w lewo i w prawo na łańcuchach transportowych. Podczas ruchu łańcuchami, moduł z łańcuchami jest podnoszony, tak, aby paleta opierała się jedynie na łańcuchach.
- czujniki pojemnościowe, sygnalizują zbliżenie się palety do krańca
- czujnik optyczny na wyjściu, sygnalizuje opuszczenie palety ze stacji łączącej, odblokowuje rolki transportowe do stacji łączącej
- moduł usuwający elementy, koniec linii produkcyjnej

5.4.1. Opis algorytmu

Na rolkach transportowych przemieszcza się paleta. Paleta aktywuje czujnik. Sąsiednie Rolki transportowe zatrzymują się, aby nie doszło do kolizji palet. W zależności od strony sekwencja wygląda inaczej.

Dla prawej strony włączają się prawe rolki i przesuwają paletę do przodu. Zbocze opadające czujnika na wyjściu oznacza, iż paleta przejechała i odblokowuje ruch rolek przed stacją łączącą.

Dla lewej strony włączają się lewe rolki i przenoszą paletę do przodu. Po aktywacji lewego czujnika pojemnościowego, rolki się wyłączają. Łańcuchy zarówno lewej jak i prawej stacji podnoszą się i przesuwają paletę w prawą stronę tak długo, aż zostanie aktywowany prawy czujnik pojemnościowy. Włączają się prawe rolki i przesuwają paletę do przodu. Zbocze opadające czujnika na wyjściu oznacza, iż paleta przejechała i odblokowuje ruch rolek przed stacją łączącą.

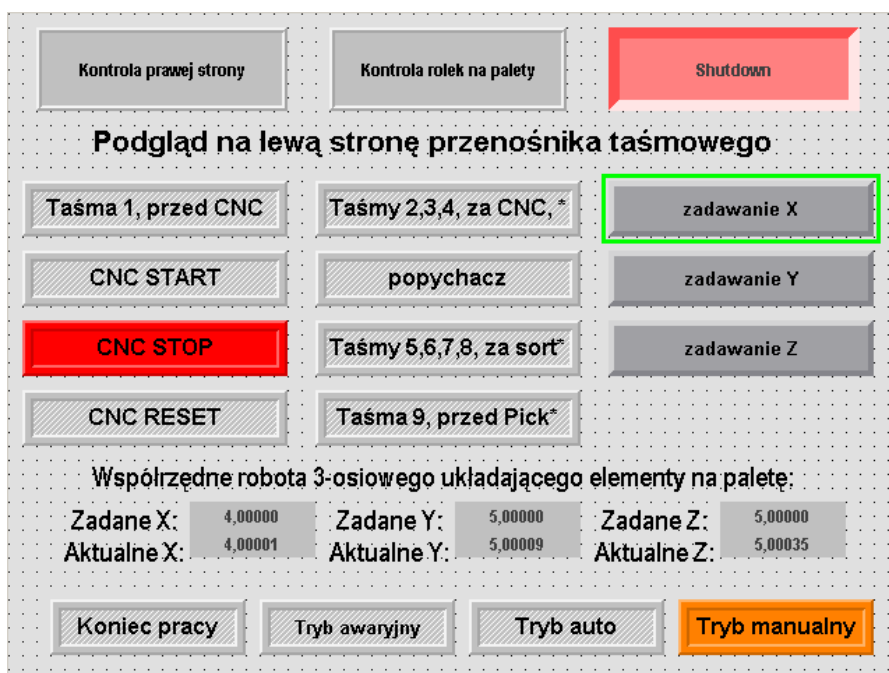
5.5. Panel HMI

HMI jest wyświetlany na panelu Allen-Bradley Panel ViewPlus1000. Zadaniem HMI jest wyświetlanie stanu poszczególnych elementów oraz ręczne sterowanie linią produkcyjną. W razie braku sygnał o stanie elementu wykonawczego wyświetla się na niebieskim tle napis error wraz z nazwą elementu. U spodu znajdują się przyciski zmieniające tryb pracy linii. Po naciśnięciu tryby manualnego zostają udostępnione przyciski do ręcznego sterowania linii (Rys. 5.15). Rodzaj użytego przycisku to *maintained push button*. Zmienia swoją wartość po przyciśnięciu i zmienia swój stan przy ponownym naciśnięciu. Ze względu na mnogość elementów, zostały utworzone trzy ekrany: lewa strona przenośnika taśmowego (Rys. 5.16), prawa strona przenośnika taśmowego, oraz część obiektu z rolkami transportowymi. W trybie Manualnym możemy zadawać wartości na oś Pick&Place za pomocą klawiatury z wyskakującego okienka (rys. 5.17). Wartości zadane różnią się odrobinę od wartości odczytanych. Wynika to z dokładności osi i czujnika odległości. Różnice są małe, więc nie wpływają na dokładność ustawiania produktów. Ze względu na dużą ilość taśm transportujących, zostały one pogrupowane według lokalizacji. Przykładowo przycisk „Taśmy (transportowe) 2,3,4 za CNC” (Rys. 5.17). Podświetlenie na zielono przycisku lub kafelka oznacza wysoki stan.

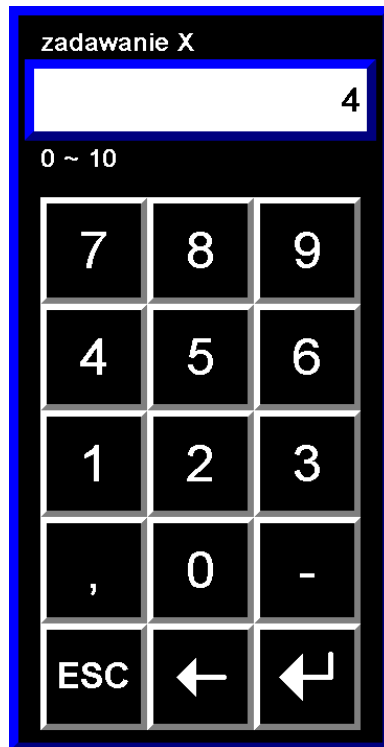
Szare tło oznacza niski stan lub brak elementu na czujniku wizyjnym. Pole czujnika wizyjnego świeci się w zależności od wykrytego elementu. Po wykryciu niebieskiego elementu, kafelki zmienia barwę na niebieski. Analogicznie dzieje po wykryciu zielonego elementu. Ponadto zawiera informację o typie elementu: surowy, spód lub pokrywka.



Rys. 5.15 Wyświetlacz HMI w trybie końca dnia pracy



Rys. 5.16 Wyświetlacz HMI w trybie manualnym



Rys. 5.17 Pop-up, zadawanie wartości na osi X

5.6. Tryby pracy

Tryb automatyczny - normalny tryb pracy, linia produkcyjna działa automatycznie

Tryb końca pracy – tryb włączany na koniec dnia pracy, lub jeśli chcemy opróżnić taśmę. Zakończa podawanie nowych elementów do obrobienia, taśmę za sortowaniem są włączone cały czas. Jeśli po 2 minutach nie pojawi się produkt na czujniku przed Pick&Place, to paleta, z co najmniej 1 produktem zostanie wysłana. Jeśli po upływie 2 min od wysłania palety nic nie pojawi się na czujniku stacji łączącej, to cała linia się wyłączy.

Tryb awaryjny - wszystkie urządzenia wyłączają się, można wywołać w każdym momencie

Tryb manualny – urządzenia wyłączają się, można kontrolować ręcznie urządzenia za pomocą panelu HMI

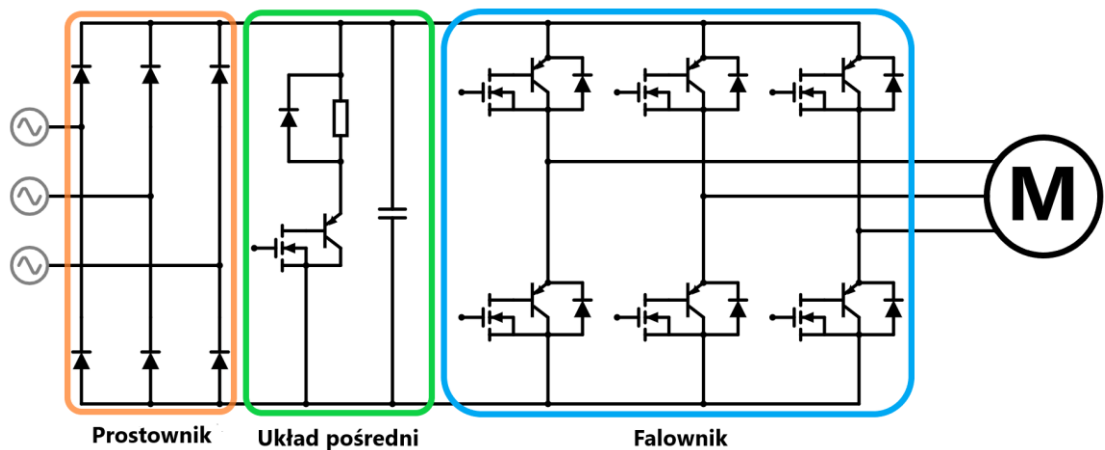
6. Przemiennik częstotliwości i silnik asynchroniczny

6.1. Ogólne informacje na temat przemiennika częstotliwości

Aby sterować prędkością lub położeniem układu napędowego, musimyysterować częstotliwość prądu silnika. Przemiennik częstotliwości zmienia częstotliwość prądu przemiennego.

Składa się z kilku części:

- Prostownik – zmienia przemienny prąd wejściowy na napięcie pulsacyjne.
- Układ pośredni – zmienia wyprostowane napięcie na prąd stały lub o regulowanej wartości, stabilizuje pulsujące napięcie stałe.
- Falownik – zamienia napięcie stałe na ustaloną przez nas częstotliwość napięcia na wyjściu



Rys. 6.1 Schemat elektryczny przemiennika częstotliwości

Schemat elektryczny (Rys. 6.1) został narysowany przy użyciu strony falstad.com [7]

Wyróżniamy kilka metod sterowania falownikami [8] :

- sterowanie skalarne - najprostsza metoda sterowania momentem rozruchowym. Rozróżniamy dwie charakterystyki: liniową oraz kwadratową. Przy charakterystyce liniowej utrzymana jest stała zależność napięcia wyjściowego do częstotliwości wyjściowej. W przypadku charakterystyki kwadratowej utrzymana jest stała zależność napięcia wyjściowego do kwadratu częstotliwości.
- sterowanie wektorowe - jest bardziej zaawansowane i pozwala precyzyjniej kontrolować prędkość obrotową silnika niż sterowanie skalarne. Falownik sterowany wektorowo może utrzymywać stałą wartość momentu obrotowego w całym zakresie regulacji prędkości obrotowej.

Rodzaje zatrzymywania silnika:

- Hamowanie rampą czasową – ustawiony czas rampy ustala, ile czasu potrzebuje silnik od maksymalnej prędkości do zatrzymania, czas zmienia się liniowo
- Hamowanie wolnym wybiegiem - odcięcie od zasilania, wykorzystuje bezwładność i opór do zatrzymania silnika
- Hamowanie DC/Hamowanie dynamiczne - włączenie prądu stałego do uzwojenia silnika, występuje przegrzewanie się silnika
- Hamowanie strumieniem - zmiana strumienia magnetycznego, wytwarza się ciepło, może dojść do spalenia silnika, używa się w sytuacjach awaryjnych

6.2. Konfiguracja przemiennika częstotliwości

General | Connection | Module Info | Port Configuration | Drive

Type: PowerFlex 525-E2P PowerFlex 525 via E2P
 Vendor: Rockwell Automation/Allen-Bradley
 Parent: Local
 Name: PF525_1
 Description:

Ethernet Address
☒ Private Network: 192.168.1. 76
☐ IP Address:
☐ Host Name:

Module Definition
 Change ...
 Revision: 4.001
 Electronic Keying: Compatible Module
 Connection: Parameters via Datalinks
 Mode: Velocity

Rys. 6.2 Ustawienia ogólne przemiennika częstotliwości PowerFlex 525 E2P

W ustawieniach ogólnych ustawiamy adres przemiennika, nazwę używaną w programie (Rys.6.2). Po naciśnięciu przycisku *change...* definiujemy moduł.

Module Definition

Drive Rating: 1P 240V .50HP
 Revision: 4 - 1
 Electronic Keying: Compatible Module

Input Data	Output Data
DriveStatus	LogicCommand
	Alternative Start Is Used
OutputFreq	FreqCommand
	Alternative Reference Is Used
Output Voltage	Disabled
Output Current	Disabled
Encoder Speed	Disabled
Disabled	Disabled

☐ Display as Tag Members
 Mode Select: Velocity

DANGER: Unexpected hazardous motion of machinery may occur when improperly using software to configure a drive.

Parameter names selected for the Input and Output Data appear as member names in the drive Module-Defined Data Types and defines necessary Datalink parameters in the RSLogix 5000 project. Actual data transfer between controller and drive is determined by Datalink parameters.

You must download configuration to the drive to ensure that the controller, drive and communication module configurations are consistent with each other.

If the revision of your drive is not listed:
 - click Create Database... button below if drive is online.
 - click Web Update... to download the database from the web if drive is offline.

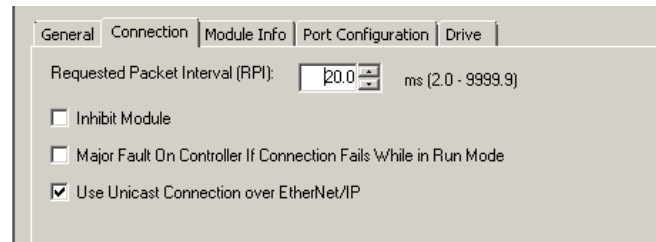
Create Database...
 Web Update...
 Match Drive

OK Cancel Help

Rys. 6.3 Definiowanie modułu

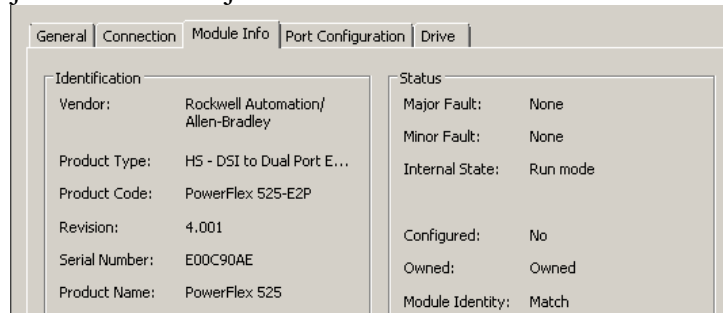
Opis niektórych ustawień (Rys. 6.3) [9]:

- *Drive rating* - napięcie i moc znamionowa przemiennika
- *Revision* - wersja oprogramowania przemiennika częstotliwości
- *Input data* - parametry przemiennika, które mają być wysyłane do sterownika
- *Output data* - parametry przesyłane ze sterownika do przemiennika częstotliwości
- *Mode select* - ustawia konfigurację I/O na tryb prędkości lub pozycji



Rys. 6.4 Ustawienia połączenia przemiennika częstotliwości PowerFlex 525 E2P
Opis ustawień (Rys. 6.4) :

- *Requested Packet Interval (RPI)* - określa maksymalny przedział, w którym kontroler powinien używać do przesyłania danych do i z przemiennika częstotliwości.
- *Inhibit Module* - blokuje moduł komunikacji z projektem RSLogix 5000/Logix Designer
- *Major fault on controller ...* - błąd na sterowniku, gdy jest w trybie run, a połączenie modułu nie powiedzie się
- *Use Unicast Connection Over Ethernet/Ip* – używa Unicastu, czyli komunikacja gdzie jest jeden nadawca i jeden odbiorca



Rys. 6.5 Informacje o przemienniku częstotliwości PowerFlex 525 E2P

W zakładce „Module Info” znajdują się informacje o statusie oraz dane identyfikacyjne przemiennika częstotliwości (Rys.6.5).

31	Motor NP Volts	230	V	230	230	20	230
32	Motor NP Hertz	50	Hz	50	60	15	500
33	Motor OL Current	2,5	A	25	2,5	0,0	5,0
34	Motor NP FLA	1,7	A	17	1,7	0,1	5,0
35	Motor NP Poles	4		4	4	2	40
36	Motor NP RPM	1750	RPM	1750	1750	0	24000
37	Motor NP Power	0,40	kW	40	0,40	0,00	655,35
39	Torque Perf Mode	V/Hz		0	SVC	0	3
40	Autotune	Ready/Idle		0	Ready/Idle	0	2
41	Accel Time 1	0,00	Sec	0	10,00	0,00	600,00
42	Decel Time 1	0,00	Sec	0	10,00	0,00	600,00
43	Minimum Freq	0,00	Hz	0	0,00	0,00	500,00
44	Maximum Freq	50,00	Hz	5000	60,00	0,00	500,00
45	Stop Mode	DC Brake, CF		2	Ramp, CF	0	11
46	Start Source 1	Network Opt		4	Keypad	1	5
47	Speed Reference1	Network Opt		4	Drive Pot	1	16
48	Start Source 2	DigIn TrmBlk		2	DigIn TrmBlk	1	5
49	Speed Reference2	0-10V input		5	0-10V input	1	16
50	Start Source 3	EtherNet/IP		5	EtherNet/IP	1	5
51	Speed Reference3	EtherNet/IP		15	EtherNet/IP	1	16
52	Average kWh Cost	0,00		0	0,00	0,00	655,35
53	Reset To Defaults	Ready/Idle		0	Ready/Idle	0	3

Rys. 6.6 Wycinek z okna ustawiania parametrów przemiennika częstotliwości

Wybrane parametry (Rys. 6.6) [10]:

- *Motor NP RPM* - obroty na minutę silnika oznaczone na tabliczce znamionowej
- *Autotune* - włącza statyczny lub dynamiczny autotune do automatycznego ustawiania parametrów silnika.
 - 0 = “Ready/Idle” – domyślne ustawienie
 - 1 = “Static Tune” - test rezystancji stojana przy nieobracającym się silniku w celu uzyskania najlepszego możliwego ustawienia automatycznego
Po wykonaniu strojenia parametr zwraca 0 “Ready/Idle”
 - 2 = “Rotate Tune” – test rezystancyjny przy obracającym się silniku celu uzyskania najlepszego możliwego ustawienia automatycznego. Po wykonaniu strojenia parametr zwraca 0 “Ready/Idle”. Może być wykonany jedynie bez obciążenia silnika.
- *Accel time* - czas potrzeby, aby przyspieszyć od 0 Hz do maksymalnej częstotliwości, parametr zwany również rampą
- *Decel time* - czas potrzebny, aby zwolnić z maksymalnej częstotliwości do 0 Hz, parametr zwany również rampą
- *Maximum freq* - maksymalna częstotliwość
- *Stop mode* - rodzaj zatrzymywania silnika, **CF** oznacza *Clear Fault*, czyli usuń błędy po zatrzymaniu
 - “Ramp” - hamowanie rampą czasową
 - “Coast” - hamowanie wolnym wybiegiem
 - “DC Brake” - hamowanie dynamiczne
 - “DC BrakeAuto” - hamowanie dynamiczne z dynamicznym hamowaniem
 - “Ramp+EM Brk” - hamowanie rampą czasową i hamulcem elektromagnetycznym
 - „Pointstop” - Zapewnia metodę zatrzymywania się na stałej odległości zamiast stałego okresu czasu. Zaleca się użycie rezystorów hamowania.
- *Start source* - źródło domyślnego sygnału uruchamiającego napędu
- *Speed reference* - źródło domyślnego sygnału prędkości napędu

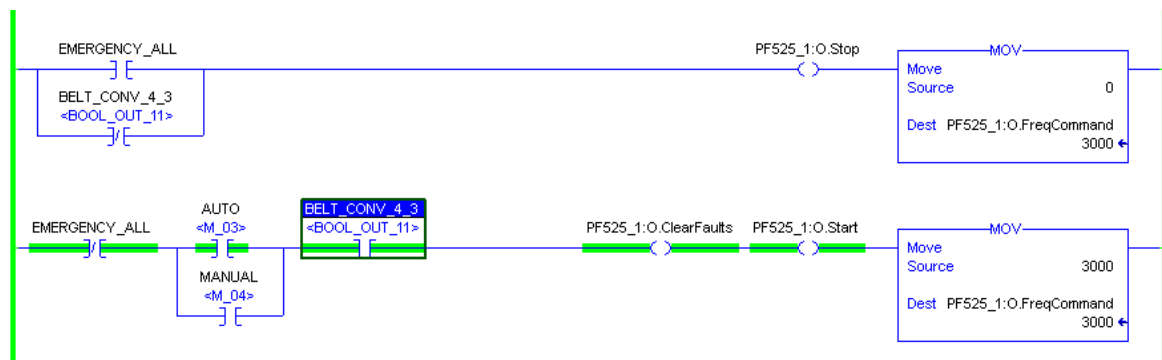
Name	Value	Data Type	Description
PowerFlex_52K_Drive.I	{...}	AB:PowerFlex5...	
PowerFlex_52K_Drive.I.DriveStatus	2#0000_00...	INT	
PowerFlex_52K_Drive.I.Ready	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.Active	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.CommandDir	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.ActualDir	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.Accelerating	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.Decelerating	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.Faulted	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.AtReference	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.CommFreqCnt	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.CommLogicCnt	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.ParmsLocked	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.DigIn1Active	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.DigIn2Active	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.DigIn3Active	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.DigIn4Active	0	BOOL	
PowerFlex_52K_Drive.I.OutputFreq	0	INT	
PowerFlex_52K_Drive.I.StopMode	0	INT	
PowerFlex_52K_Drive.I.OutputCurrent	0	INT	
PowerFlex_52K_Drive.I.OutputVoltage	0	INT	
PowerFlex_52K_Drive.I.CommandedFreq	0	INT	

Rys. 6.7 zmienne wejściowe przemiennika częstotliwości

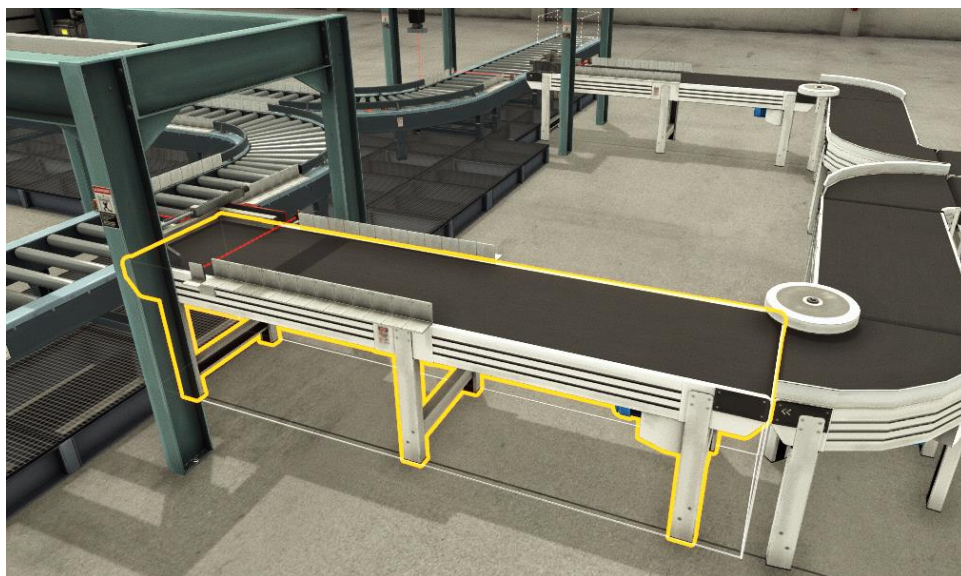
Name	Value	Data Type	Description
PowerFlex_52X_Drive.O	{...}	AB:PowerFlex5...	
+ PowerFlex_52X_Drive.O.LogicCommand	2#0000_00...	INT	
PowerFlex_52X_Drive.O.Stop	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.Start	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.Jog	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.ClearFaults	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.Forward	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.Reverse	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.ForceKeypadCtrl	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.MOPIncrement	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.AccelRate1	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.AccelRate2	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.DecelRate1	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.DecelRate2	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.FreqSel01	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.FreqSel02	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.FreqSel03	0	BOOL	
PowerFlex_52X_Drive.O.MOPDecrement	0	BOOL	
+ PowerFlex_52X_Drive.O.FreqCommand	0	INT	
+ PowerFlex_52X_Drive.O.SleepTime	0	INT	
+ PowerFlex_52X_Drive.O.AverageWhCost	0	INT	
+ PowerFlex_52X_Drive.O.AccelTime1	0	INT	
+ PowerFlex_52X_Drive.O.DecelTime1	0	INT	

Rys. 6.8 zmienne wyjściowe przemiennika częstotliwości

Ruchy silnika są sterowane używając zmiennych wejść i wyjść przemiennika częstotliwości. W programie zostały użyte zmienne O.freqCommand, O.stop, O.start, O.clearFaults (Rys.6.7 i Rys.6.8). Częstotliwość zadajemy wpisując iloczyn pożądanej częstotliwości i 100. Jest to spowodowane zdefiniowaniem zmiennej typu Int. Operacje na zmiennych Int są szybsze od operacji przeprowadzanych na zmiennych Real. Na rysunku 6.9 przedstawiono część programu odpowiedzialną za sterowanie silnikiem. Jak można zauważyć, włącza się wtedy gdy włączamy taśmę transportową zaznaczoną na rysunku 6.10.



Rys. 6.9 Część kodu odpowiedzialna za sterowanie silnika



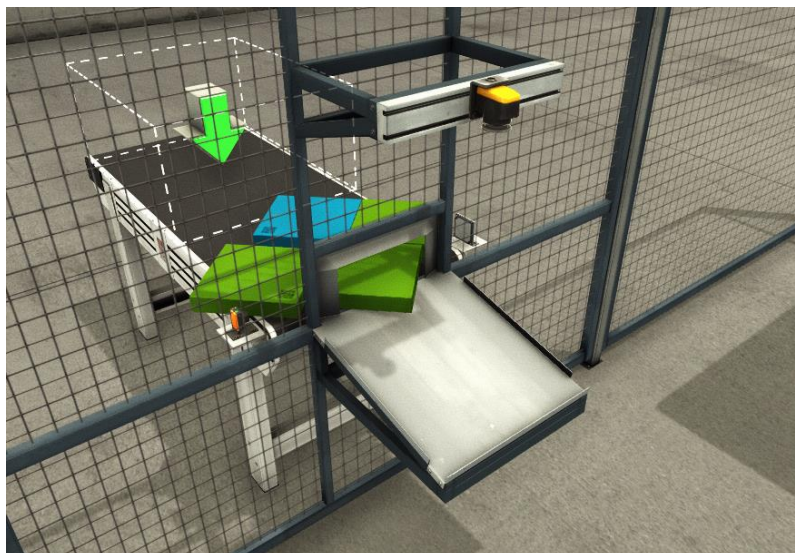
Rys. 6.10 Taśma transportowa powiązana z silnikiem

7. Weryfikacja i walidacja

Poprawność programu została przetestowana na każdej stacji z osobna. Ze względu na długi czas przejazdu od początku do końca linii, zostały sztucznie ustawione elementy na linii. Pomogło to zasymulować sytuacje, które zdarzają się rzadziej, takie jak szereg produktów jeden za drugim. Ten sposób pracy pozwala na rozwiązywanie błędów na bieżąco. Na końcu została sprawdzona cała linia, zostawiając włączoną symulację na dłuższy okres czasu.

Stacja CNC

Zbyt duża ilość nieobrobionego materiału przy wejściu do zsypu CNC powoduje zapychanie się otworu (Rys.7.1). Dlatego też jest ważne, aby na taśmie znajdował się jedynie jeden element. W tym celu ruszamy taśmą transportową jedynie, po zrzuceniu gotowego produktu na taśmę przy wyjściu CNC. Program Factory I/O oferuje nam dwa rodzaje frezowania, spód i pokrywkę. Dla tego projektu wybrano spód, aby zwiększyć częstotliwość wyrzucania gotowych produktów. Zatrzymanie w odpowiednim czasie całej instalacji guzikiem awaryjnym powoduje, że maszyna traci pewne informacje o obróbce elementu. Po odblokowaniu guzika awaryjnego, z CNC może wyjść nieobrobiony produkt. Dalszym kierunkiem rozwoju projektu jest zmniejszenie lub zlikwidowanie wąskiego gardła oraz wyrzucanie elementów, które nie przejdą kontroli jakości.



Rys. 7.1 Zapychanie się otworu do zsypu

Stacja Sortująca

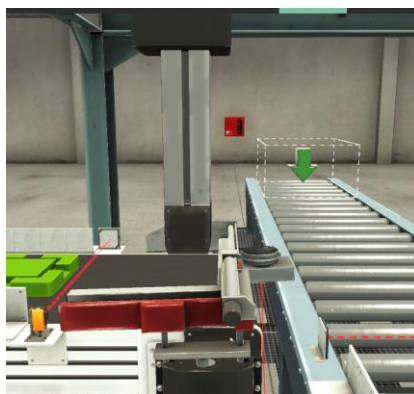
Taśmy prowadzące wokół stacji sortującej są włączane okresowo. Dwie pierwsze taśmy za CNC włączają się na okres 10 sekund po aktywowaniu czujnika na wyjściu ze stacji CNC. Taśma przed sortowaniem jest włączona tak długo, aż element przejedzie, pod warunkiem, że nie odbywa się segregowanie na sąsiedniej taśmie. Za sortowaniem taśmy transportowe jest zależne od innej taśmy transportowej. Ma to skrócić czas ruchu taśm transportowych, a co się z tym wiąże zredukować zużycie energii elektrycznej.

Stacja Pick&Place

Stacje Pick&Place zostały testowane na początku przy użyciu kilku produktów położonych w niewielkiej odległości, a następnie w zwyczajnych warunkach. Tak jak było wspomniane, Stacja CNC tworzy wąskie gardło, dlatego też na taśmie do Pick&Place, co jakiś czas trafiają pojedyncze elementy. Jednak przy trybie końca pracy elementy kumulują się, dlatego ważne było przetestowanie tego scenariusza. Początkowym projekcie elementy zostawały ustawiane na pozycję przez alignery. Dochodziło do zapychania się elementów, ponieważ elementy się przekrzywiały. Wymieniono, więc alignery, pozycjonerem. Kolejnym problemem okazały się wskazania czujników pozycji. Zadana wartość osi różniła się nieznacznie od wskazań czujnika. Zauważono, że błąd zazwyczaj mieścił się w przedziale ± 0.0005 , co daje nam w przybliżeniu 0,2 mm błędu przy najdłuższej osi X. Problem rozwiązano używając timerów. Timer aktywował się w czasie zadawania wartości położenia osi. Po upływie czasu timera lub ustaleniu się osi na wartości zadanej przechodzimy do kolejnego kroku. Problem można było rozwiązać za pomocą przedziałów wartości pozycji. Przy programowaniu sekwencji warto pamiętać, iż ramię pozycjonujące wystaje. Przez źle napisany program można zahaczyć głowicą Pick&Place (Rys.7.3).

Zadane X:	4,00000	Zadane Y:	5,00000	Zadane Z:	5,00000
Aktualne X:	4,00001	Aktualne Y:	5,00009	Aktualne Z:	5,00035

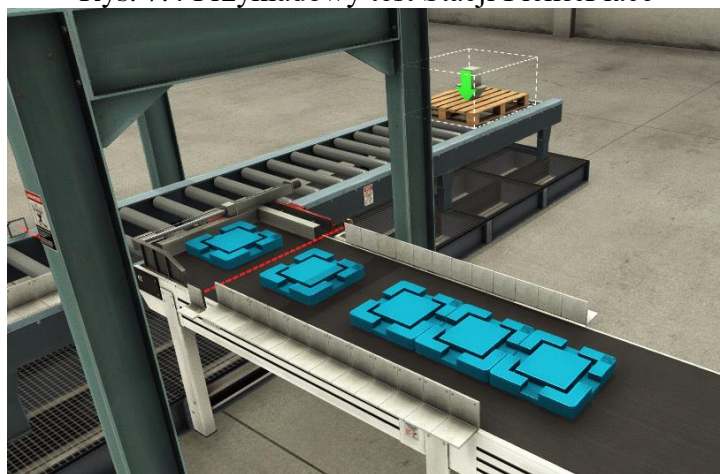
Rys. 7.2 różnica pomiędzy wartościami zadanymi a wartościami na czujniku



Rys. 7.3 Sytuacja, do której nie chcemy dopuścić, zahaczenie kiści o pozycjoner



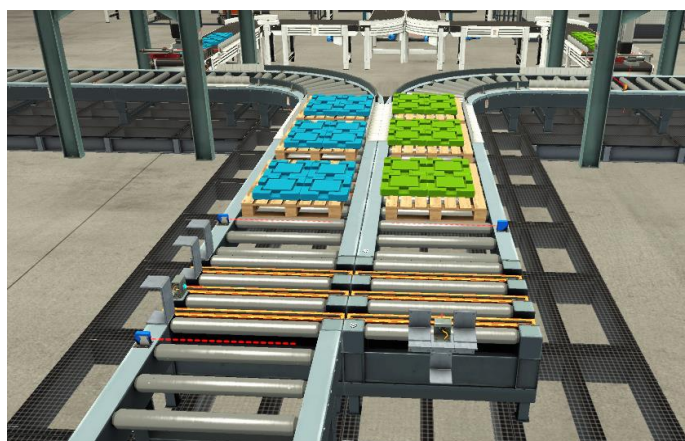
Rys. 7.4 Przykładowy test Stacji Pick&Place



Rys. 7.5 Przykładowy test stacji Pick&Place

Stacja łącząca

Stacja łącząca została przetestowana, używając emitera wydającego palety oraz podczas normalnego trybu pracy. Stacja łącząca zatrzymuje ruch sąsiadującej linii, gdy czujnik zanotuje obecność palety. Jest to konieczne w przypadku dużej ilości palet, aby nie doszło do zaczepienia się palety o paletę.



Rys. 7.6 Przykładowy test stacji łączącej

8. Podsumowanie i wnioski

Tematem pracy jest symulacja linii produkcyjnej przy użyciu programu do nauki programowania Factory I/O. Po przygotowania obiektu w symulacji, podłączono się ze sterownikiem i napisano program na sterownik CompactLogix 5370 firmy Allen-Bradley. Dodatkowo wykorzystano wyposażenie pracowni Rockwell Automation. Użyto elementy takie jak przemiennik częstotliwości, silnik asynchroniczny, przyciski oraz kolumna sygnalizacyjna. Udało się zrealizować postanowione cele.

Założeniem pracy było wirtualne uruchomienie linii produkcyjnej i sprawdzenie działania programu. Zaletą wirtualnego rozruchu jest sprawdzenie zarówno oprogramowania jak i ułożenia instalacji. Wizualizacja pozwoliła na pozbycie się błędów w programie zanim zostaną zaimplementowane w rzeczywistej instalacji. Wizualizacja pomogła w znalezieniu błędów. Dzięki wizualizacji zmieniono również rozwiązania sprzętowe takie jak urządzenie pozycjonujące. Wizualizacja 3D okazała się przydatna np. przy ustalaniu współrzędnych trzyosiowej maszyny Pick&Place. Dzięki wizualizacji można precyzyjnie ustawić współrzędne kiści Pick&Place i sprawdzić ile wolnego miejsca znajduje się z przodu i tyłu palety.

Dalszy rozwój projektu mógłby polegać na rozbudowie linii produkcyjnej lub zmiany sposobu sterowania. Sterowanie taśmy transportowej lub pushera można zmienić z sygnału cyfrowego na sygnał analogowy. Umożliwiłoby to płynną zmianę prędkości taśmy i pusher. Rozbudować linię dodając kolejne stacje CNC, aby zminimalizować wąskie gardło, wstawić magazyn przechowujący palety z produktami, stację kontroli jakości produktów.

Bibliografia

- [1] Przemysł 4.0 <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/tag/przemysl-4-0/> (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [2] Rockwell Automation, Opis produktu Compactlogix 5370 <https://www.rockwellautomation.com/pl-pl/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/small-controllers/compactlogix-family/compactlogix-5370-controllers.html> (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [3] Rockwell Automation „Integrated Architecture and CIP Sync Configuration”, https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/at/ia-at003_-en-p.pdf (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [4] Odva, „CIP Sync™” <https://www.odva.org/technology-standards/distinct-cip-services/cip-sync/> (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [5] Factory I/O, Manual, <https://docs.factoryio.com/manual/> (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [6] Rockwell Automation, „Logix5000 Control Systems: Connect a PanelView Plus Terminal over an EtherNet/IP Network” https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/qs/iasimp-qs033_-en-p.pdf (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [7] <https://www.falstad.com/circuit/> (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [8] EBMiA, „Falownik – zasada działania, rodzaje, zastosowanie i budowa”, data publikacji artykułu: 09.09.2019, <https://www.ebmia.pl/wiedza/porady/automatyka-porady/falownik/#falownik> (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [9] Rockwell Automation, „PowerFlex 525 Embedded EtherNet/IP Adapter” https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520com-um001_-en-e.pdf (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)
- [10] Rockwell Automation, „PowerFlex 520-series Adjustable Frequency AC Drive”, https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/520-um001_-en-e.pdf (Data uzyskania dostępu: 01.01.2023)

Dodatki

Spis skrótów i symboli

CF	<i>Clear Fault</i> , usuwanie komunikatów o błędach
CIP	<i>Common Industrial Protocol</i> , protokół przemysłowy
CNC	<i>Computerized Numerical Control</i> , Obrabiarka sterowana numerycznie
HMI	<i>Human Machine Interface</i> , przemysłowy interfejs między urządzeniem a operatorem
NC	<i>normally closed</i> , normalnie zamknięty
NP	<i>nameplate</i> , tabliczka znamionowa
PTP	<i>Precision Time Protocol</i> , protokół precyzyjnej synchronizacji czasu
RA	<i>Rockwell Automation</i>
TCP	<i>transmission Control Protocol</i> , Protokół sterowania transmisją
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> , protokół pakietów użytkownika

Lista dodatkowych plików, uzupełniających tekst pracy

W systemie, do pracy dołączono dodatkowe pliki zawierające:

- Załącznik 1 - Program sterownika PLC
- Załącznik 2 – Symulację linii produkcyjnej w Factory I/O

Spis rysunków

Rys. 2.1 Stanowisko laboratoryjne.....	10
Rys. 2.2 PanelView Plus 1000, Panel HMI użyty w projekcie	11
Rys. 2.3 Przyciski na stanowisku laboratoryjnym	13
Rys. 2.4 Kolumna świetlna na stanowisku, różne konfiguracje.....	13
Rys. 3.1 Sterowniki do wyboru w Factory I/O	14
Rys. 3.2 Sterowanie symulacją	15
Rys. 3.3 Pasek opcji wyświetlania symulacji.....	15
Rys. 4.1 Linia produkcyjna zaprojektowana w Factory I/O	17
Rys. 4.2 Przyciski na skrzynce elektrycznej	18
Rys. 4.3 Przypisywanie wejść i wyjść.....	19
Rys. 4.4 Konfiguracja wejść i wyjść, pole do wpisywania adresu IP	19
Rys. 5.1 Stacja CNC.....	21
Rys. 5.2 Schemat blokowy opisanego programu, stacja CNC.....	22
Rys. 5.3 Stacja do segregacji według koloru	23
Rys. 5.4 Widok z góry na taśmy transportowe	25
Rys. 5.5 Schemat blokowy taśm prowadzących do Pick&Place	25
Rys. 5.6 Schemat blokowy ruchu taśm między CNC a stacją sortującą.....	26
Rys. 5.7 Schemat blokowy taśm znajdujących się po lewej stronie	27
Rys. 5.8 Schemat blokowy taśm znajdujących się po prawej stronie	28
Rys. 5.9 Stacja przenosząca elementy na paletę	29
Rys. 5.10 Ułożenie elementów na palecie, widok z boku.....	30
Rys. 5.11 Ułożenie elementów na palecie, widok z góry	30
Rys. 5.12 Schemat blokowy Pick&Place cz.1	31
Rys. 5.13 Schemat blokowy Pick&Place cz.2	32
Rys. 5.14 Stacja scalająca dwie linie transportowe.....	33
Rys. 5.15 Wyświetlacz HMI w trybie końca dnia pracy.....	35
Rys. 5.16 Wyświetlacz HMI w trybie manualnym	35
Rys. 5.17 Pop-up, zadawanie wartości na osi X	36
Rys. 6.1 Schemat elektryczny przemiennika częstotliwości.....	37
Rys. 6.2 Ustawienia ogólne przemiennika częstotliwości PowerFlex 525 E2P	39
Rys. 6.3 Definiowanie modułu.....	39
Rys. 6.4 Ustawienia połączenia przemiennika częstotliwości PowerFlex 525 E2P	40
Rys. 6.5 Informacje o przemienniku częstotliwości PowerFlex 525 E2P	40
Rys. 6.6 Wycinek z okna ustawiania parametrów przemiennika częstotliwości	40
Rys. 6.7 zmienne wejściowe przemiennika częstotliwości.....	41
Rys. 6.8 zmienne wyjściowe przemiennika częstotliwości.....	42
Rys. 6.9 Część kodu odpowiedzialna za sterowanie silnika	42
Rys. 6.10 Taśma transportowa powiązana z silnikiem	43
Rys. 7.1 Zapychanie się otworu do zsypu	44
Rys. 7.2 różnica pomiędzy wartościami zadanymi a wartościami na czujniku	45
Rys. 7.3 Sytuacja, do której nie chcemy dopuścić, zahaczenie kiści o pozycjoner	45
Rys. 7.4 Przykładowy test Stacji Pick&Place	46
Rys. 7.5 Przykładowy test stacji Pick&Place.....	46
Rys. 7.6 Przykładowy test stacji łączącej.....	46

Spis tablic

Tabela 1, Wykaz oznaczeń przy tagach urządzeń.....16

Tabela 2, sposób kodowania poszczególnych elementów przez czujnik wizyjny.....24