

# AUTOMATYZACJA SYSTEMU TRANSPORTOWEGO NA LINII TECHNOLOGICZNEJ DO RECYKLINGU SPRZĘTU AGD

**Mateusz MUSIAŁ, Edward CHLEBUS, Kamil KROT, Krzysztof CHRAPEK**

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono efekty realizacji projektu linii do recyklingu sprzętu AGD w zakresie automatyzacji i optymalizacji działania systemu transportowego. Opisano zagadnienia i związane z nimi problemy do przeanalizowania dla całej linii demontażu. Szczegółowego wyjaśnienia zagadnień dotyczących sterowania i komunikacji dokonano na przykładzie zbudowanego testowego stanowiska do skanowania laserowego korpusów chłodziarek.

**Słowa kluczowe:** systemy transportowe, automatyzacja transportu, recykling sprzętu AGD.

## 1. Wstęp

W niniejszej pracy zaprezentowano część wyników projektu pt. „Linia technologiczna do demontażu sprzętu AGD z wykorzystaniem obróbki laserowej” realizowanego przez Politechnikę Wrocławską w Instytucie Technologii Maszyn i Automatyzacji. Projekt współfinansowany jest przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

Przedmiotem projektu jest realizacja zadań badawczych, efektem których będzie opracowanie linii technologicznej do demontażu sprzętu AGD.

Zaproponowane rozwiązanie przewiduje usystematyzowanie i zautomatyzowanie procesu demontażu chłodziarek. Projekt ma na celu usprawnienie tego procesu pod względem czasu i nakładów pracy. Linia realizowana jest w postaci wyspecjalizowanych stanowisk operacyjnych połączonych ze sobą systemem transportowym [3].

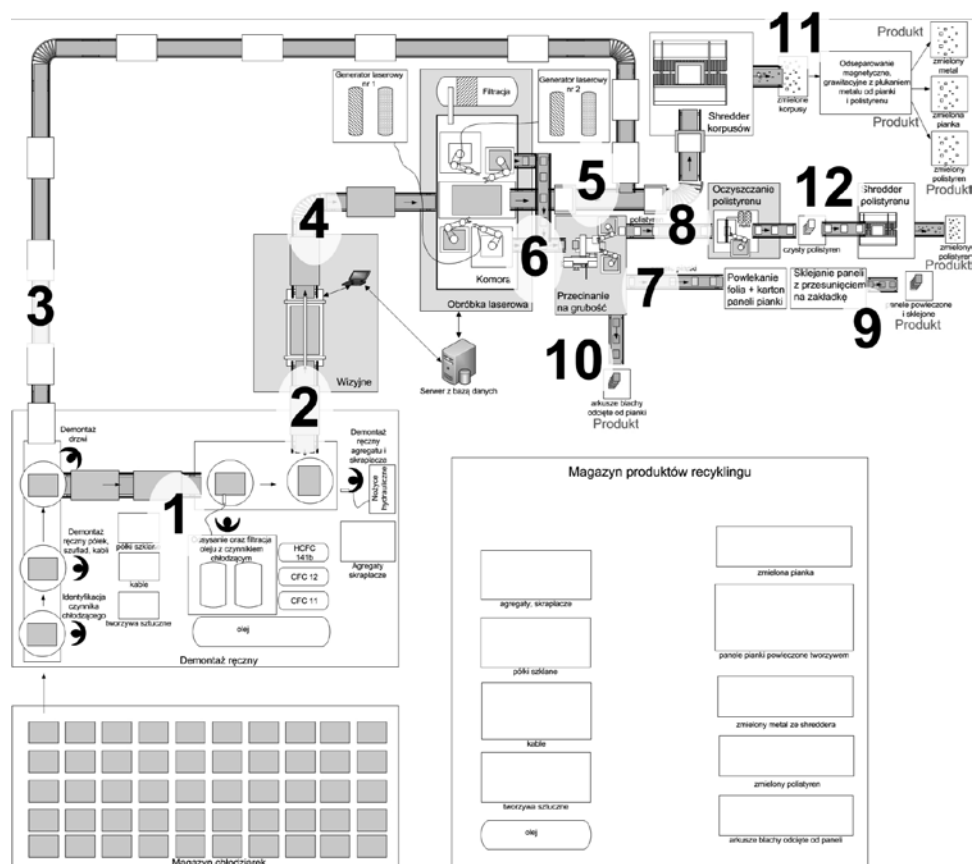
Obecnie stosowane technologie i rozwiązania demontażu zużytego sprzętu AGD są nieefektywne i czasochłonne, co generuje koszty. Na skutek szybkiego rozwoju technologicznego i planowanego przez producentów krótszego czasu życia produktu na rynek trafiają ogromne ilości nowego sprzętu elektronicznego i AGD. Pojawia się problem zagospodarowania odpadów ze zużytego sprzętu, które powinny być zneutralizowane lub odzyskane i po przetworzeniu ponownie wykorzystane w gospodarce.

## 2. Projekt linii do demontażu sprzętu AGD

W rozdziale przedstawiono schemat ogólny zaprojektowanej linii demontażu sprzętu AGD z wyszczególnieniem stanowisk procesowych i odcinków systemu transportowego oraz ich krótką charakterystyką.

### 2.1. Layout systemu

Na rys. 1. przedstawiono schemat ogólny całej zaprojektowanej linii do demontażu sprzętu AGD. Złożona jest ona ze stanowisk, odpowiedzialnych za konkretne operacje. Stanowiska połączone są w zamkniętą strukturę za pośrednictwem zautomatyzowanego



Rys. 1. Schemat linii do demontażu sprzętu AGD z oznaczeniem głównych odcinków systemu transportowego

systemu transportowego. Na rysunku oznaczono także główne odcinki systemu transportowego (1-12), które opisano krótko w podrozdziale 2.2.

Kolejne odcinki przystosowane muszą być do przenoszenia innych obiektów – zarówno pod względem gabarytów, masy, jak i postaci (obiekty stałe, materiały sypkie).

Projektowana linia technologiczna składa się z czterech bloków funkcjonalnych odpowiedzialnych za kolejne etapy procesu technologicznego demontażu:

- demontaż części roboczych,
- identyfikacja produktu,
- obróbka laserowa,
- segregacja produktów demontażu.

Przebieg procesu przedstawiono schematycznie na rys. 2.

W budowanym stanowisku założone zostało wykorzystanie następujących elementów automatyki przemysłowej:

- systemy transportowe,
- systemy identyfikacji,
- stanowiska zrobotyzowane.

System transportowy łączy stanowiska linii technologicznej demontażu. Jego głównym zadaniem jest organizacja przepływu obiektów i materiałów pomiędzy stanowiskami. Na stanowiskach transportowane przedmioty są pozycjonowane zgodnie z wymogami projektowanych procesów. W miejscach tych dokonywana jest identyfikacja obiektów demontażu lub pobranie do wykonania kolejnych operacji technologicznych.

Spośród oferowanych komercyjnych rozwiązań systemów transportowych zostało rozważone zastosowanie następujących systemów:

- systemy paletowe,
- przenośniki taśmowe,
- przenośniki rolkowe,
- przenośniki podwieszane.



Rys. 2. Schemat blokowy przebiegu demontażu

## 2.2. Charakterystyka odcinków transportowych linii

W zależności od rodzaju przenoszonych obiektów czy materiałów wśród odcinków systemu transportowego wyróżnić można:

- grupę odcinków, na których przenoszone są materiały o dużych gabarytach (np. korpus chłodziarki, drzwi chłodziarki),
- grupę odcinków, na których przenoszone są materiały o mniejszych gabarytach (np. elementy obudowy rozciętej chłodziarki, blacha),
- grupę przenośników, na których przenoszone są materiały sypkie (np. rozdrobniona pianka poliuretanowa czy zmielone tworzywo sztuczne).

Zastosowane w poszczególnych grupach przenośniki zróżnicowane są pod względem typu, gabarytów oraz mocy.

Międzystanowiskowe systemy transportowe podzielone zostały w zależności od rozmieszczenia i realizowanego zadania na następujących 12 odcinków (rys. 1):

- (1.) Transport w obrębie stanowiska demontażu ręcznego,
- (2.) Transport ze stanowiska demontażu ręcznego do stanowiska wizyjnego,
- (3.) Transport ze stanowiska demontażu ręcznego do stanowiska rozdrabniania korpusów,
- (4.) Transport ze stanowiska wizyjnego do stanowiska obróbki laserowej,
- (5.) Transport ze stanowiska obróbki laserowej do stanowiska rozdrabniania korpusów,
- (6.) Transport ze stanowiska obróbki laserowej do przecinania paneli na grubość,
- (7.) Transport ze stanowiska przecinania na grubość na stanowisko powlekania paneli izolacyjnych (pianka),
- (8.) Transport ze stanowiska przecinania na grubość do stanowiska oczyszczania polistyrenu,
- (9.) Transport ze stanowiska powlekania paneli do magazynu produktów recyklingu,
- (10.) Transport ze stanowiska przecinania na grubość do magazynu produktów recyklingu,
- (11.) Transport ze stanowiska rozdrabniania korpusów do magazynu produktów recyklingu,
- (12.) Transport ze stanowiska oczyszczania polistyrenu do magazynu produktów recyklingu.

Realizacja poszczególnych odcinków systemu transportowego wraz z doбором niezbędnych sensorów i elementów wykonawczych oraz realizacją układów sterowania

i automatyki były jednymi z głównych zadań projektu, którego wyniki są prezentowane w niniejszym opracowaniu.

### **3. Automatykacja odcinków systemu transportowego**

W rozdziale sformułowano i opisano zadania, jakie powinien realizować układ sterowania systemu transportowego oraz wymagania związane z jego funkcjonowaniem. Następnie zaprezentowano algorytmy sterowania dla przykładowych odcinków systemu.

#### **3.1. Zadania realizowane przez system sterowania oraz kluczowe problemy do rozwiązania**

W obrębie zadania realizacji zautomatyzowanego/zrobotyzowanego systemu transportowego dla połączenia poszczególnych stanowisk linii do recyklingu sprzętu AGD wyróżnić można szereg podzadań powiązanych z potrzebą analizy i rozwiązania problemów podstawowych. Można podzielić je na kilka grup:

##### Zadania konstrukcyjne:

- analiza sposobów realizacji transportu chłodziarek na linii,
- dobór urządzeń i związanych bezpośrednio z nimi urządzeń sterujących,
- zapewnienie ergonomii pracy na stanowiskach dla operatorów i pracowników,
- uniwersalność rozwiązań dla przenoszenia zróżnicowanych obiektów,
- prostota zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych,
- przewidywanie zachowania się przenoszonych obiektów i materiałów na systemach transportowych już na etapie wstępnego projektowania i symulacji,
- jak najmniejsze obciążenie buforów lub ich eliminacja,

##### Zadania związane ze sterowaniem i synchronizacją:

- komunikacja układu sterowania z pracownikami i operatorami,
- rozwiązanie zagadnienia komunikacji międzystanowiskowych odcinków systemu transportowego ze stanowiskami procesowymi,
- rozwiązanie zagadnienia synchronizacji pracy odcinków systemu transportowego,
- globalne zarządzanie systemem transportowym całej linii recyklingu wraz z kontrolą pracy poszczególnych stanowisk,
- zapewnienie odpowiedniej orientacji obiektów na każdym ze stanowisk,
- przeciwdziałanie występowaniu kolizji obiektów,
- zapewnienie odpowiedniej synchronizacji ruchu w kluczowych węzłach systemu.

##### Zadania związane z monitorowaniem i niezawodnością pracy:

- kontrola stanu i orientacji przenoszonych obiektów na wszystkich odcinkach linii,
- przewidywanie i przeciwdziałanie przypadkowym zdarzeniom,
- analiza rozwiązań zatrzymania i rozruchu linii w przypadku awarii lub nagłego zatrzymania systemu.

##### Zadania związane z bezpieczeństwem:

- rozwiązanie zagadnienia systemów bezpieczeństwa stanowisk i całej linii,
- rozwiązanie zagadnień automatycznego reagowania na nieprzewidziane zdarzenia bez udziału człowieka.

Rozwiązanie tych zagadnień przy pomocy jednego spójnego systemu stało się jednym z kluczowych zadań projektu w zakresie realizacji systemu transportowego dla linii recyklingu sprzętu AGD. Jednym z początkowych etapów projektowania było określenie

charakteru pracy całego systemu. Wszelkiego rodzaju przenośniki i automatyczne urządzenia transportowe mogą realizować zadania transportowe na linii na dwa sposoby (w zależności od sposobu realizacji ruchu) [1]:

- układy o ruchu ciągłym;
- układy o ruchu przerywanym.

Pierwsze z wymienionych układów realizują przemieszczanie obiektów na poszczególnych stanowiskach, jak i pomiędzy nimi, w sposób ciągły z określoną prędkością. Kolejne odcinki są ze sobą zsynchronizowane w sposób mechaniczny lub programowy. Brak przystanków oraz zróżnicowania prędkości wymaga w tym przypadku dostosowania czasów poszczególnych operacji. Ruch obiektu podczas wykonywania na nim danej operacji utrudnia, a nawet uniemożliwia wykonywanie niektórych czynności, szczególnie w przypadku czynności precyzyjnych. Sterowanie systemami transportu ciągłego jest prostsze w realizacji, gdyż nie wymaga złożonego układu czujników i urządzeń pomiarowych służących do wykrywania obecności oraz pozycji i orientacji obiektów na poszczególnych etapach. Ważne jest jednak precyzyjne dostosowanie prędkości i utrzymywanie jej stałej wartości przy zmiennym w czasie obciążeniu [2].

Układy o ruchu przerywanym realizują transport obiektów w sposób cykliczny. Na każdym odcinku pomiędzy stanowiskami, na których wykonywane są operacje, ruch odbywa się w dwóch etapach [1]:

- przemieszczenie obiektu na drodze z poprzedniego stanowiska do kolejnego,
- zatrzymanie oraz spozycjonowanie obiektu na kolejnym stanowisku na pewien określony czas.

Układy takie wymagają nie tylko realizacji samego transportu z zachowaniem określonych parametrów, jak w przypadku transportu ciągłego, ale również bardziej skomplikowanych układów pozycjonowania opartych na czujnikach położenia i bramkach świetlnych. Dodatkowo wymagane jest sterowanie każdym z odcinków niezależnie i realizacja układów regulacji prędkości i położenia, co komplikuje i podraża koszty budowy. Przy sterowaniu systemami o ruchu przerywanym dopuszczalne jest w pewnych granicach niedostosowanie czasów poszczególnych operacji, co sprawia, że system jest prostszy w planowaniu, bardziej elastyczny i mniej podatny na zakłócenia. Budowa takich układów jest jednak często konieczna ze względu na charakter wykonywanych operacji i konieczność zatrzymywania ruchu obiektów na poszczególnych odcinkach.

Do transportu obiektów na wszystkich omawianych ścieżkach układu transportowego zastosowano przenośniki taśmowe. W ogólnym podziale można wyróżnić dwa rodzaje (funkcje) przenośników stosowanych na liniach montażowych (demontażu) [1]:

- przenośniki transportowe (realizujące wyłącznie transport),
- przenośniki transportowo-montażowe (demontażowe), na których równocześnie odbywa się transport i przeprowadzane operacje.

Przykładowo dla struktury stanowiska demontażu ręcznego (rys. 1(1)) zauważyć można, że korzystne jest zastosowanie przenośników drugiego rodzaju, co powoduje uproszczenie układu zarówno mechanicznego jak i układu sterowania, gdyż operacje wykonywane są bezpośrednio na taśmie przenośnika i nie jest wymagany dodatkowy transport obiektów pomiędzy elementami systemu transportowego a stanowiskami operacyjnymi. Operacje wykonywane na stanowiskach są jednak na tyle czasochłonne, że konieczne będzie sekwencjonowanie ruchu lodówek pomiędzy stanowiskami. Możliwe są dwa rozwiązania:

- ciąg transportowy podzielony na niezależne odcinki z własnym napędem i strefami buforowymi pomiędzy stanowiskami,

- jeden ciąg transportowy łączący wszystkie stanowiska.

Rozwiązanie pierwsze jest bardziej elastyczne. Potencjalne problemy na jednym ze stanowisk nie powodują natychmiastowego zatrzymania całej linii. Wadą jest dużo większa liczba różnych urządzeń sterujących pracą tego systemu.

Rozwiązanie drugie jest zdecydowanie tańsze. Wadą jest to, że w razie wystąpienia awarii wstrzymana zostanie praca całej linii. Jeżeli liczba stanowisk obsługiwanych przez system transportowy będzie nie większa niż 4 to właściwsze będzie zastosowanie jednego ciągu transportowego. Ze względu na zmienny charakter ruchu systemu transportowego praca każdej sekcji systemu musi być sterowana. Konieczne jest zastosowanie układów pozwalających na regulację parametrów rozruchu i hamowania oraz posiadających podstawowe funkcje diagnostyki działania silnika. Charakter wykonywanych operacji może być przyczyną przeciążania pracy napędu przez np. klinowanie taśmy demontowanymi fragmentami lodówki.

Sterowanie przenośników taśmowych napędzanych silnikami trójfazowymi asynchronicznymi odbywa się za pośrednictwem falowników, których zadaniem jest zmiana parametrów napięcia zasilania silnika (wartość napięcia, częstotliwość prądu), a w konsekwencji zmiana parametrów pracy silnika (m.in. prędkości obrotowej). Dzięki temu można płynnie regulować prędkość posuwu taśmy przenośnika w danym zakresie. Zakres prędkości zależny jest od konstrukcji mechanicznej (średnica wałków napędowych) oraz układu napędowego (silnik, przekładnia mechaniczna).

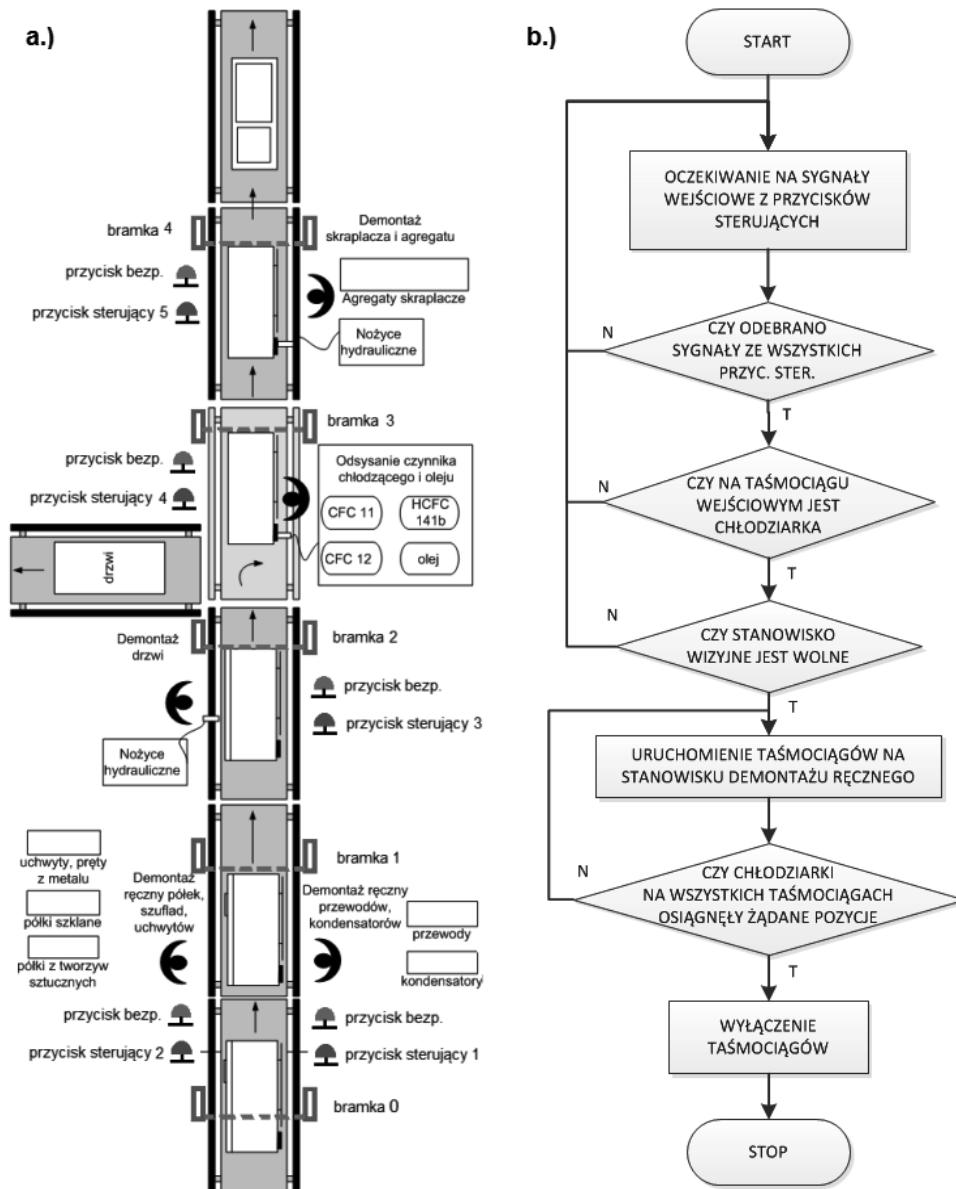
W przypadku, gdy nie jest wymagane uzyskanie i zachowanie dokładnej stałej wartości prędkości, istnieje możliwość uproszczenia układu sterowania poprzez eliminację falowników z układu zasilania. Wówczas silnik zasilany jest bezpośrednio z sieci elektrycznej, a prędkość dostosowuje się stopniowo za pomocą przekładni mechanicznej (najczęściej przekładnia zębata redukcyjna lub ślimakowa). W układzie tym jednak nie ma możliwości sterowania prędkością podczas pracy i jej regulacji w celu dostosowania do procesu, gdyż jest ona ustalana jednorazowo poprzez dobór odpowiedniej przekładni.

Podobne zagadnienia związane z doбором podzespołów i sposobów sterowania i synchronizacji występują na każdym odcinku systemu transportowego linii do recyklingu. Ze względu na różnorodność gabarytów, mas i formy przenoszonych obiektów konieczne jest przeprowadzenie analizy różnych rozwiązań dla wielu odcinków całego systemu z uwzględnieniem zadań i problemów opisywanych na początku podrozdziału 3.1. Jest to jedno z kluczowych zagadnień dla powodzenia realizacji zadania związanego z budową systemu transportowego dla linii recyklingu sprzętu AGD.

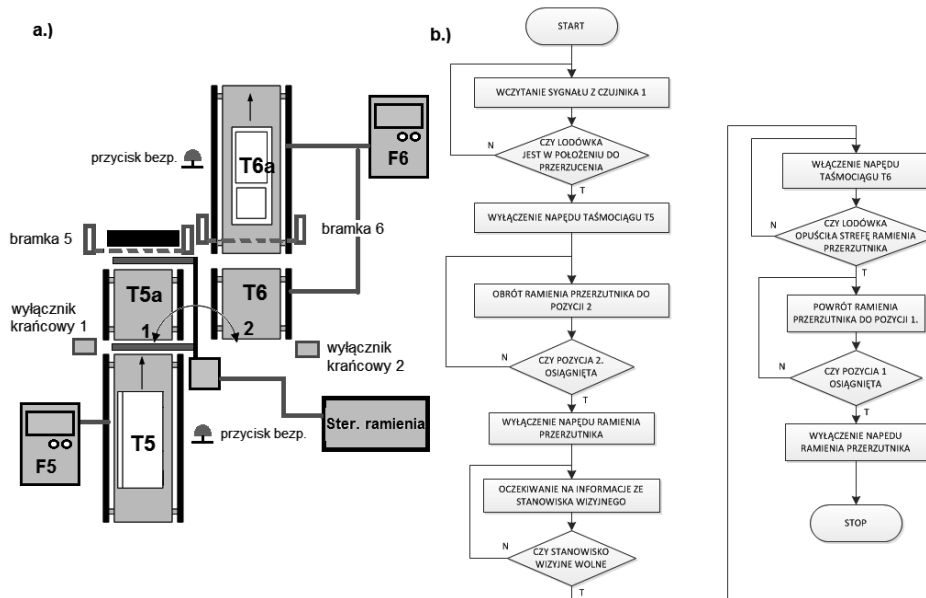
### **3.2. Algorytmy sterowania odcinkami systemu transportowego**

Dla poszczególnych odcinków systemu transportowego opracowano schematy rozmieszczenia czujników i podzespołów oraz algorytmy sterowania, które zaimplementowane zostały na sterowniku PLC. Poniżej zaprezentowano kilka wybranych:

- transport na stanowisku demontażu ręcznego (rys. 3),
- transport między stanowiskiem demontażu ręcznego a stanowiskiem skanowania - zmiana orientacji (rys. 4),



Rys. 3. Stanowisko demontażu ręcznego: schemat rozmieszczenia elementów sterujących (a), algorytm sterowania odcinkiem systemu transportowego (b)



Rys. 4. Układu do zmiany orientacji chłodziarki: schemat rozmieszczenia elementów sterujących (a), algorytm sterowania odcinkiem systemu transportowego (b)

#### 4. Układ sterowania na stanowisku testowym do skanowania i przecinania laserowego

Realizacja budowa systemu sterowania dla stanowiska testowego obejmowała określenie zadań systemu, opracowania algorytmu procesu, zaprojektowania układu sterowania oraz rozwiązania zagadnień związanych z komunikacją między urządzeniami.

##### 4.1. Zadania do zrealizowania

W ramach projektu zaprojektowane i wykonane zostało kompletne stanowisko testowe do skanowania korpusów chłodziarek wraz z kompletem podzespołów wykonawczych oraz układem sterowania (rys. 5).

Podczas projektowania i fizycznej realizacji tego stanowiska należało poddać analizie następujące zagadnienia:

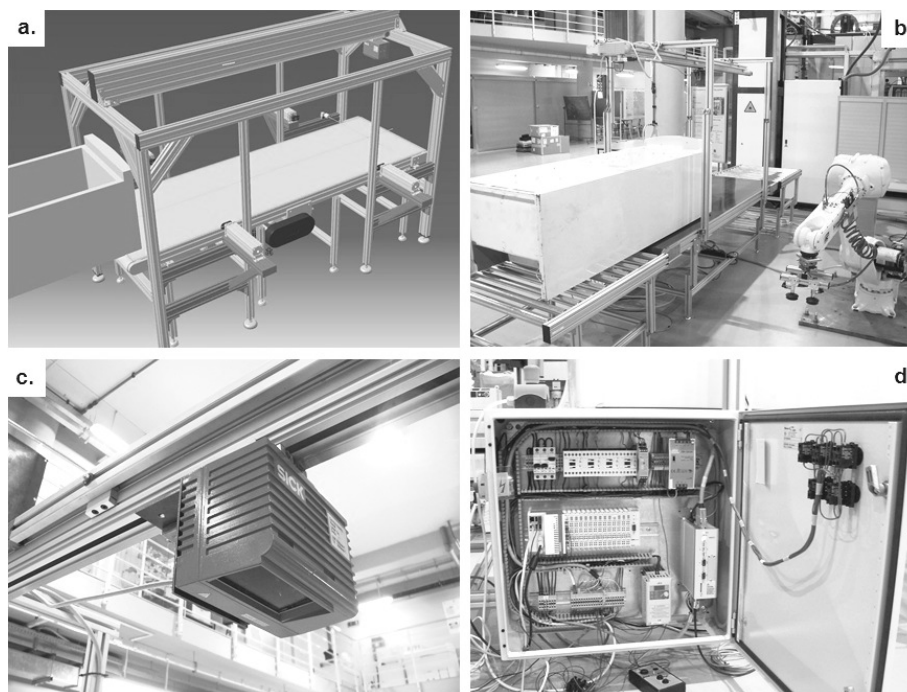
- określenie odpowiedniej orientacji korpusu chłodziarki dla przeprowadzenia wymaganych operacji,
- sposób realizacji transportu,
- pozycjonowanie i stabilizacja obiektu na stanowisku,
- realizacja skanowania korpusu celem określenia gabarytów oraz rozmieszczenia komór chłodziarki,
- analiza i przetwarzanie danych pomiarowych,
- zapewnienie bezpieczeństwa i niezawodności pracy,
- komunikacja z innymi stanowiskami.

Po wstępnej analizie niezbędne było:

- określenie przebiegu procesu skanowania,



- dobór podzespołów i elementów układu sterowania,
- rozwiązanie zagadnienie komunikacji ze sterownikiem napędu liniowego oraz przenośnikiem taśmowym i skanerem laserowym.



Rys. 5. Opracowane stanowisko testowe skanowania: model stanowiska (a), stanowisko rzeczywiste (b), skaner laserowy na prowadnicy liniowej (c), układ sterowania (d)

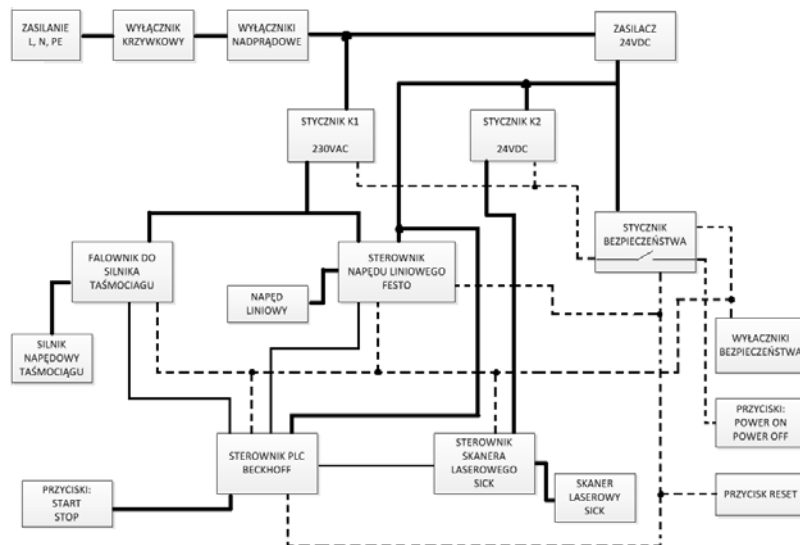
#### 4.2. Algorytm sekwencji ruchów

Opracowana kolejność wykonywania operacji na stanowisku skanowania laserowego jest następująca:

- dojazd korpusu chłodziarki do stanowiska,
- transport korpusu na stanowisko,
- zatrzymanie i pozycjonowanie (za pośrednictwem przenośnika taśmowego oraz układu siłowników pneumatycznych),
- skanowanie obiektu za pomocą skanera laserowego,
- przetwarzanie danych pomiarowych w sterowniku PLC,
- transport korpusu chłodziarki do następnego stanowiska.

#### 4.3. Schemat ideowy układu sterowania dla stanowiska

Na rys. 6. przedstawiono ideowy schemat połączeń podzespołów układu sterowania na opracowanym stanowisku testowym skanowania laserowego.



Rys. 6. Schemat blokowy połączeń układu sterowania dla stanowiska skanowania laserowego

#### 4.4. Zagadnienie komunikacji ze sterownikiem napędu liniowego

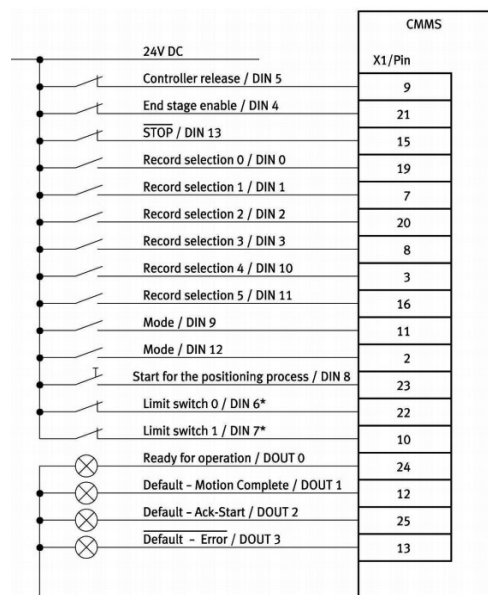
Na stanowisku testowym zainstalowano kompletny zestaw napędu z prowadnicą liniową firmy Festo ze sterownikiem CMMS-AS-C4-3A. Służy on do przemieszczania skanera laserowego przy skanowaniu.

Do sterownika dołączone jest oprogramowanie pozwalające na dobór optymalnych parametrów sterowania oraz programowanie i testowanie urządzenia. Na wykonanym stanowisku sterownik pracuje w trybie przejazdu przez zaprogramowane przy wykorzystaniu dedykowanego oprogramowania ścieżki (positioning). Na rys. 7. przedstawiono sposób podłączenia wejść/wyjść komunikacyjnych między sterownikiem napędu a PLC.

Krótki opis ich funkcji:

Wejścia:

- DIN4 i DIN5 – włączenie zasilania napędów,
- DIN8 - start,
- DIN13 - stop,
- DIN0,1,2,3,10,11 - sześć bitów do wyboru programu,
- DIN9, DIN12 - wybór trybu pracy (2 bity),



Rys. 7. Schemat wymaganych połączeń dla komunikacji sterownika CMMS-AS oraz PLC

- DIN6, DIN7 - dwa czujniki krańcowe prowadnicy,

Wyjścia programowalne:

- DOUT0 – gotowość do rozpoczęcia operacji,
- DOUT1 – sygnał zakończenia ruchu,
- DOUT2 – sygnał wykonywania operacji,
- DOUT3 – sygnał błędu.

#### 4.5. Zagadnienie sterowania przenośnikiem taśmowym i skanerem laserowym

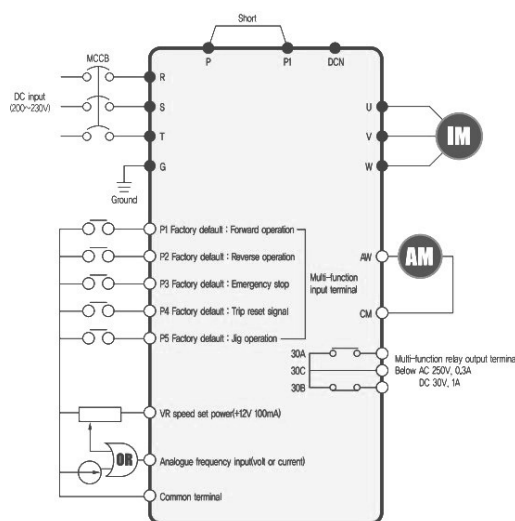
Do sterowania parametrami ruchu przenośnika taśmowego wykorzystano falownik LS serii S004 iE5-1 przeznaczony do sterowania trójfazowych asynchronicznych silników indukcyjnych o małej mocy (do 0,4kW).

Schemat podłączenia zasilania i sterowania falownika przedstawiono na rys. 8. Wejścia P1 – P5 są programowalne, a ich funkcjonalność zależy od trybu pracy. Wejście analogowe (prądowe lub napięciowe) służy do sterowania prędkością silnika.

Sterownik PLC komunikuje się z falownikiem za pośrednictwem wejść:

- P1 – praca „do przodu”,
- P2 – praca „do tyłu”,
- P3 – stop (blokada pracy),
- AI – wejście sygnału analogowego.

Komunikacja ze skanerem laserowym SICK (rys. 5c) skupia się na włączeniu i wyłączeniu skanowania za pomocą wejść binarnych (trigger’y) w odpowiednim momencie podczas ruchu skanera. W tym czasie odbierane są dane ze skanera przesyłane za pośrednictwem protokołu TCP/IP i przetwarzane w sterowniku PLC.



Rys. 8. Schemat podłączenia falownika

#### 4.6. Symulacja pracy stanowiska

Dla weryfikacji pracy stanowiska na etapie projektowania, przeprowadzone zostały symulacje modelu wirtualnego polegające na uruchomieniu oprogramowania sterującego, które wykorzystując zdefiniowane mechanizmy i logikę sterującą podzespołów, porusza nimi i przeprowadza wirtualny proces identyfikacji. Przy przyjętych parametrach siłowników, taśmociągu i procesu skanowania czas cyklu stanowiska wynosi 19,9 s. Czas ten może być dość swobodnie modyfikowany poprzez zmianę prędkości ruchu poszczególnych podzespołów. Tabela 1 przedstawia przyjęte parametry podzespołów stanowiska.

Tab. 1. Lista parametrów stanowiska identyfikacji

	MIN	AVG	MAX
Prędkość siłowników pozycjonujących [m/s]	0,1	0,2	2
Prędkość taśmociągu [m/s]	0,2	0,5	1
Prędkość ruchu skanera [m/s]	0,5	1	2,5
Czas cyklu [s]	32,5	19,9	11,2



Rys. 9. Przykładowy wykres Gantta czasu cyklu stanowiska identyfikacji wizyjnej

## 5. Wnioski

Realizacja zautomatyzowanego i sprawnie działającego, a zarazem prostego i niezawodnego systemu transportowego zarówno w obrębie stanowisk procesowych jak i pomiędzy nimi było jednym z ważnych zadań projektu.

Zamodelowanie i przeprowadzenie procesu symulacji stanowiska identyfikacji pozwala na oszacowanie czasu cyklu w zróżnicowanych nastawach paramentów. Dobór nastaw może zostać zmodyfikowany w celu minimalizacji kosztów eksploatacji podzespołów, lub minimalizacji czasu działania stanowiska. W połączeniu z modelem stanowiska wycinania paneli, model symulacyjny może stanowić podstawę do przeprowadzenia optymalizacji na poziomie globalnym. Analiza działania stanowisk w takim podejściu pozwala sprawdzić poprawność procesu, parametry czasowe i daje podstawę do przyszłych obliczeń kosztów eksploatacji linii. Dzięki wykonaniu i uruchomieniu rzeczywistego modelu stanowiska identyfikacji można było zweryfikować parametry i poprawność działania systemu osiągnięte na drodze symulacji.

## Literatura

1. Kowalski T., Lis G., Szenajch W.: Technologia i automatyzacja montażu maszyn. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
2. Honczarenko J.: Elastyczna automatyzacja wytwarzania: obrabiarki i systemy obróbkowe. WNT, Warszawa, 2000.
3. Chlebus E., Krot K.: Laser cutting of sandwich composite materials. Production engineering innovations and technologies of the future Institute of Production Engineering and Automation. Wrocław University of Technology, 2011, s. 229-232.

Mgr inż. Mateusz MUSIAŁ

Prof. dr hab. inż. Edward CHLEBUS

Dr inż. Kamil KROT

Dr inż. Krzysztof CHRAPEK

Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji

Politechnika Wrocławska

50-371 Wrocław, ul. Łukasiewicza 5

tel./fax: (71) 320 41 84

e-mail: mateusz.musial@pwr.wroc.pl

edward.chlebus@pwr.wroc.pl

kamil.krot@pwr.wroc.pl

krzysztof.chrapek@pwr.wroc.pl