Henryk Juszka, Stanisław Lis, Marcin Tomasik, Rafał Janosz

ROBOTYZACJA ROLNO-SPOŻYWCZYCH PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

MATERIAŁY NAUKOWO-DYDAKTYCZNE

Kraków 2013

Recenzenci:
Prof. dr hab. Kazimierz Dreszer – UP Lublin
Dr hab. inż. Jędrzej Trajer, prof. SGGW – SGGW Warszawa

„Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2013
jako projekt badawczy N N313-154435" oraz z „Dotacji projakościowej dla WIPiE/06097"

© Copyright by Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków 2013

ISBN 978-83-935020-7-3

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, nagrywających i innych, w tym również nie może być umieszczany ani rozpowszechniany w postaci cyfrowej zarówno w Internecie, jak i w sieciach lokalnych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Projekt okładki: Łukasz Ornat

Opracowanie redakcyjne: dr hab. inż. Maciej Kuboń

Redaktor językowy: mgr Mirosław Grzegórzek

Wydanie I
Druk i oprawa:
DRUKROL S C., Kraków, ul. Ujastek 9
Tel./fax. (12) 412 46 50, e-mail: drukarnia@drukrol.pl; www.drukrol.pl
Ark. wyd. 13,58, ark. druk. 12,25
Nakład: 200 egz.

SPIS TREŚCI

PRZEDMOWA 7
PODSTAWOWE TERMINY 9
1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROBOTYZACJI 10
2. ROBOT PRZEMYSŁOWY FANUC S420I F 13
2.1. Manipulator 15
2.2. Układ sterowania 25
2.3. Kalibracja robota przemysłowego 33
3. UKŁADY SENSORYCZNE W ROBOTYCE 34
3.1. Przegląd wybranych typów czujników 35
3.1.1. Czujniki indukcyjne 35
3.1.2. Czujniki pojemnościowe 36
3.1.3. Czujniki magnetyczne 38
3.1.4. Czujniki ultradźwiękowe 40
3.1.5. Czujniki kąta 40
3.1.6. Czujniki obrotowo-impulsowe 41
3.1.7. Czujniki optyczne 43
3.1.8. Wyłączniki krańcowe 48
3.1.8.1. Przykład zastosowania wyłączników krańcowych 50
4. PROGRAMOWANIE ROBOTÓW 53
4.1. Metody programowania 53
4.2. Języki programowania 56
4.3. Programowanie na stanowisku pracy 57
4.3.1. Tworzenie programu 58
4.3.2. Wybór programu 58
4.3.3. Programowanie standardowych instrukcji ruchu 59
4.3.4. Programowanie instrukcji ruchu wartościami rejestru pozycji PR 60
4.3.5. Programowanie instrukcji kontroli chwytaka 62
4.3.6. Procedura wprowadzania działań matematycznych 62
4.3.7. Procedura wprowadzania wyrażeń logicznych 63
4.4. Programowanie poza stanowiskiem pracy 64
4.4.1. Tworzenie wirtualnego stanowiska pracy 65
4.4.2. Dobór komponentów wirtualnego stanowiska pracy 67
4.4.3. Dobór chwytaka 68
4.4.4. Afiliacja elementów stanowiska 68
4.4.5. Tworzenie programu robota 70
5. BEZPIECZEŃSTWO PRACY W ZROBOTYZOWANYCH SYSTEMACH PRODUKCYJNYCH 71
5.1. Ogólne wymagania dla urządzeń zabezpieczających 71
5.2. Zabezpieczenia programowalne 75

5.3. Naciskowe urządzenia bezpieczeństwa ... 78
5.3.1. Maty naciskowe ... 78
5.3.2. Listwy krawędziowe ... 81
5.3.3. Zderzaki naciskowe ... 81
5.4. Optoelektroniczne urządzenia bezpieczeństwa ... 82
5.4.1. Bariery i kurtyny świetlne ... 82
5.4.1.1. Funkcja zawieszenia działania ... 86
5.4.1.2. Funkcja przesłaniania ... 88
5.4.2. Skanery laserowe ... 88
5.5. Moduły bezpieczeństwa ... 91
5.6. Sterowniki PLC z funkcją bezpieczeństwa ... 92
5.7. Urządzenia sygnalizacyjne ... 93
5.8. Zasady bezpieczeństwa pracy robota ... 94
6. ROBOTYZACJA DOJU KRÓW ... 95
6.1. Uwagi ogólne ... 95
6.2. Robot udojowy VMS ... 96
6.3. Robot udojowy T!TAN ... 100
6.4. Robot udojowy MIone ... 100
6.5. Robot udojowy Galaxy Starlin ... 101
6.6. Robot udojowy Astronaut A3 NEXT ... 102
6.7. Robot udojowy ROBOLEO ... 103
6.8. Mobilny robot czyszczący ... 104
6.9. Tendencje rozwojowe w robotyzacji doju krów ... 105
6.10. Udojowe stanowisko naukowo-badawcze ... 106
7. MODELOWANIE I SYMULACJA KOMPUTEROWA W PROJEKTOWANIU AUTONOMICZNEGO APARATU UDOJOWEGO DLA KRÓW (AAU) ... 111
7.1. Opis konstrukcji AAU ... 111
7.2. Model matematyczny układu regulacji automatycznej dla kolumny AAU ... 112
7.2.1. Model matematyczny obiektu regulacji – AAU ... 113
7.2.2. Model matematyczny modułów sterujących ... 118
7.2.2.1. Zadajnik ... 118
7.2.2.2. Regulator ... 124
7.3. Badania symulacyjne ... 124
7.3.1. Weryfikacja logiczna off-line ... 125
7.3.2. Weryfikacja sprzętowa on-line ... 130
8. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA ROBOTÓW W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM ... 135
8.1. Uwagi ogólne ... 135
8.2. Robotyzacja procesu pakowania ... 135
8.2.1. Pakowanie zbiorcze ... 136
8.2.2. Pakowanie jednostkowe ... 137
8.3. Uwarunkowania procesów pakowania na przykładzie pomidorów i jaj ... 138
8.3.1. Pakowanie jednostkowe pomidorów ... 138
8.3.2. Pakowanie jednostkowe jaj ... 141

8.4. Inne typy robotów stosowane w pakowaniu jednostkowym i zbiorczym 143
8.5. Paletyzacja 146
9. AUTOMATYCZNA IDENTYFIKACJA PRODUKTÓW W ROBOTYZACJI 152
9.1. Uwagi ogólne 152
9.2. Charakterystyka technologii RFID 153
9.2.1. Funkcje TAG 154
9.2.2. Zasada działania TAG 155
9.2.3. Podział TAG 156
9.2.4. Budowa TAG 157
9.2.5. Analiza pracy odbiorników 158
9.2.6. Zakres częstotliwości pracy RFID 159
9.3. Technologia EAN 160
9.3.1. Podział kodów EAN 160
9.3.2. Zasady tworzenia kodów EAN 161
9.4. Identyfikacja w technologiach EAN i RFID 162
9.4.1. Charakterystyka urządzeń 164
9.5. Oprogramowanie systemów EAN i RFID 168
9.5.1. Opis aplikacji „EAN i RFID UR” 169
9.5.2. Schemat blokowy aplikacji „EAN i RFID UR” 169
9.5.3. Obsługa przykładowej aplikacji „EAN i RFID UR” 170
9.5.3.1. Zasady ogólne 170
9.5.3.2. Wykaz opcji aplikacji 171
9.5.3.3. Algorytm funkcjonowania systemu autoidentyfikacji 178
9.5.3.4. Wymagania środowiskowe dla aplikacji „EAN I RFID UR” 180
LITERATURA 181
ZAŁĄCZNIKI 187

PRZEDMOWA

W związku z brakiem na rynku książek, omawiających robotyzację w procesach rolno-spożywczych oraz prac badawczych, poruszających tę problematykę, powstała idea stworzenia niniejszego opracowania. Podręcznik ten jest przeznaczony dla studentów kierunku: technika rolnicza i leśna, zarządzanie i inżynieria produkcji, technologia żywności oraz mechatronika, a także dla praktyków, którzy zajmują się robotyzacją w zakresie programowania i eksploatacji robotów w procesach rolno-spożywczych. Niniejsze opracowanie jest m in. próbą zestawienia podstawowych informacji o elementach elektroniki, automatyki oraz robotyki i urządzeniach stosowanych do robotyzacji rolno-spożywczych procesów technologicznych. Dla wybranych urządzeń podano w tabelach ich parametry techniczne dla orientacji czytelnika o ich wielkościach. Znaczną część książki poświęcono przykładowemu stanowisku laboratoryjnemu z robotem przemysłowym S-420iF z kontrolerem R-J2 firmy Fanuc Robotics. Na stanowisku tym można praktycznie kształcić zainteresowanych w zakresie programowania i eksploatacji robotów w procesach rolno-spożywczych.

Stanowisko wspomniane umożliwia zobrazowanie rzeczywistych procesów produkcji rolno-spożywczej, ma charakter otwarty, z możliwością przebudowy lub indywidualnego dopasowania do charakterystyki kształcenia. Po szczegółowym zapoznaniu się z tym stanowiskiem studenci mogą analizować procesy produkcji rolnej i przemysłu spożywczego w aspekcie ich robotyzacji oraz projektować układy i tworzyć algorytmy sterowania. Ponadto dobierają sensory, chwytaki i ostatecznie konfigurują stanowiska dla określonych zadań. Wcześniej poznają technologie symulacji komputerowej układów sterowania robotów w programach ROBOGUIDE I PC-ROSET dla robotów Fanuc i Kawasaki. Z tym zasobem wiedzy programują i testują samodzielnie robota Fanuc S-420iF.

Roboty Fanuc serii S-420 są użytkowane w rolnictwie i przemyśle rolno-spożywczym do takich czynności, jak: przenoszenie przedmiotów, w tym paletyzacja i pakowanie do paczek, pojemników zbiorczych, worków, w systemach wizyjnych (odnajdywanie, klasyfikacja, segregacja, pomiary, kontrola zgodności ze wzorcem), dój i in.

Wiele miejsca w tym opracowaniu poświęcono problematyce dotyczącej robotyzacji doju krów. Przedstawiono modelowanie i symulację komputerową dla nowej konstrukcji aparatu udojowego (AAU). Należy podkreślić, iż aparaty udojowe, obecnie stosowane w robotach, wymagają jeszcze ogromnego nakładu pracy twórczej, by ich oddziaływanie na wymię krowy uwzględniało w pełni fizjologię oddawania mleka.

Opanowanie wiedzy podanej w podręczniku umożliwi absolwentom w przyszłości podejmowanie decyzji o kierunku robotyzacji gospodarstw lub firm rolno-spożywczych, a także profesjonalną eksploatację robotów i manipulatorów.

Książka powstała w związku z realizacją projektu badawczego i opracowaniem przez Autorów oryginalnego Autorskiego Programu dla specjalności „Mechatronika” na kierunku Technika Rolnicza i Leśna dla studiów stacjonarnych i niestacjonarnych I i II stopnia na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja

w Krakowie. Zaprezentowano w możliwie przystępny sposób wiedzę dydaktyczną, a także wyniki badań naukowych. Autorzy żywią nadzieję, że opracowanie będzie przydatne jako uzupełnienie wykładów oraz pomoc w zajęciach laboratoryjnych z przedmiotów „automatyka" oraz „robotyzacja rolniczych procesów technologicznych".

Opracowanie zawiera ponadto wykaz terminów zalecanych przez normy, a także specjalistów od robotyzacji procesów technologicznych, które ułatwią proces wzajemnego porozumiewania się.

Na końcu zamieszczono literaturę, w której podano pozycje źródłowe oraz spis prac i materiałów informacyjnych wybranych firm zajmujących się robotyzacją procesów rolno-spożywczych.

W załącznikach zamieszczono wybrane fragmenty aktów prawnych, dotyczących bezpieczeństwa i obsługi maszyn. Są to ogólnie przyjęte procedury postępowania, które określają, jak zachować się w danej sytuacji, np. oceniając ryzyko. Mówią one, jakie standardy musi spełnić człowiek oraz maszyny, aby zapewnić pełne bezpieczeństwo pracy i ograniczyć zagrożenie do minimum.

Autorzy składają serdeczne podziękowanie przedstawicielom firm, które udostępniły informacje wzbogacające podręcznik.

PODSTAWOWE TERMINY

Robotyka – dyscyplina naukowa zajmująca się teorią, realizacją i stosowaniem maszyn cybernetycznych lokomomocyjno-manipulacyjnych.

Robotyzacja – działanie mające na celu automatyzację pracy produkcyjnej za pomocą maszyn manipulacyjnych.

Robot – maszyna manipulacyjna, sterowana automatycznie za pomocą sygnałów generowanych w programowalnym układzie sterowania, odpowiednio w funkcji: czasu lub (i) położenia elementów jej mechanizmu oraz niekiedy parametrów ruchu i (lub) stanu środowiska roboczego, programowana ręcznie i (lub) przez nauczanie – przez doprowadzenie do wybranych punktów toru lub przez obwiedzenie toru, wykonująca najczęściej powtarzalny, ale mogący ulec zmianie odpowiednio do zmiany programu, stanu środowiska lub podanej informacji, cykl ruchów manipulacyjnych lub (i) lokomocyjnych o określonych konstrukcją lub programowalnych parametrach statycznych, dynamicznych i energetycznych.

Robot – reprezentuje uniwersalną klasę systemów technicznych, spełniających przez swoje działanie kinematyczne i intelektualne funkcje człowieka.

Manipulator – maszyna manipulacyjna sterowana automatycznie za pomocą mechanizmu napędowo-sterującego lub sygnałów generowanych w stałoprogramowym układzie sterowania, odpowiednio w funkcji: czasu lub (i) położenia elementów jej mechanizmu oraz niekiedy stanu środowiska roboczego, wykonująca powtarzalny, zamknięty cykl ruchów manipulacyjnych o określonych konstrukcją parametrach statycznych, dynamicznych i energetycznych.

Programowanie – ustalanie algorytmu pracy robota przez wprowadzenie do pamięci układu sterowania instrukcji określającej rodzaj zadania podstawowego – jak pozycjonowanie i pomocniczego – jak współpraca ze środowiskiem roboczym, oraz argumentów instrukcji, określających parametry lub zakres zawartych w instrukcji zadań.

Układ sterowania programowalny – układ sterowania pracą robota według algorytmu ustalonego podczas programowania maszyny.

Chwytak – element roboczy maszyny manipulacyjnej służący do uchwycenia obiektu manipulacji (odebrania mu niezbędnej do wykonania danego zadania manipulacyjnego liczby stopni swobody), utrzymania go podczas manipulacji i uwolnienia po zakończeniu manipulacji (Olszewski i in., 1992).

Opakowanie – jest jednym z elementów produktu, spełniającym funkcje ochronne, estetyczne i informacyjne. Może być wykonane z różnych materiałów oraz przeznaczone do różnych produktów o nietypowym kształcie czy rozmiarze.

Pakowanie – jest to zwykle końcowy etap procesu technologicznego. Ma na celu zabezpieczenie przedmiotu przed działaniem czynników biologicznych, chemicznych i mechanicznych oraz ułatwia transport i dystrybucję. Kolejnym etapem jest np. paletyzacja (Jankowski, 2007; Lisińska-Kuśnierz i Ucherek, 2003).

1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA ROBOTYZACJI

Przyszłość robotyki przemysłowej to bezzałogowe zakłady produkcyjne. W obecnych zastosowaniach robotów przemysłowych z reguły dominują zadania proste i powtarzalne, niewymagające wysokich dokładności, np. obsługa maszyn, transport materiałów, malowanie i spawanie.

Konstruowanie coraz doskonalszych maszyn spowodowało powstanie nowej dyscypliny nauki o nazwie robotyka. Robotyka łączy w sobie wiedzę z wielu dziedzin, a zwłaszcza mechaniki, automatyki, elektroniki, telekomunikacji, informatyki, biologii, ergonomii itd. Ostatnio adaptuje do swoich celów badania nad sztuczną inteligencją, polegające na analizie sposobu myślenia i dedukcji człowieka. Podstawowym kierunkiem prac naukowo-badawczych w robotyce jest skonstruowanie układów technicznych zdolnych naśladować także niektóre czynności intelektualne człowieka.

Aktualnie prowadzone prace badawcze i konstrukcyjne skupiają się na następujących problemach:

- struktura, kinematyka i dynamika mechaniki maszyn manipulacyjnych;
- budowa układów sterowania, zwłaszcza z użyciem sprzętu mikroprocesorowego;
- opracowania algorytmów i języków programowania;
- budowa urządzeń do rozpoznawania obrazów;
- wyposażenie chwytaków i narzędzi maszyn manipulacyjnych w przetworniki pomiarowe;
- analiza systemów organizacyjnych i technicznych procesów wytwarzania pod kątem automatyzacji czynności manipulacyjnych i produkcyjnych;
- analiza aspektów socjalnych, ekonomicznych i technicznych zastosowań robotyzacji.

Podstawowymi kierunkami rozwoju maszyn manipulacyjnych na rynku światowym są:

- rozszerzanie stosowania napędu elektrycznego w stosunku do napędu pneumatycznego i przede wszystkim hydraulicznego;
- unifikacja i budowa modułowa zespołów mechanicznych;
- specjalizacja konstrukcji pod kątem wybranych zastosowań;
- sterowanie z wykorzystaniem elementów i układów elektroniki i automatyki.

Aby osiągnąć przedstawiony wyżej stan robotyzacji, konieczne są badania nad:

- systemami wizyjnymi wraz z metodami i algorytmami rozpoznawania obrazu środowiska, w którym przebywa maszyna, oraz pomiaru odległości od określonych elementów tego środowiska, pozwalających na sterowanie w czasie rzeczywistym;
- sztuczną inteligencją;
- systemami lokomocyjnymi jezdnymi, falowymi, a przede wszystkim kroczącymi, w tym wyboru rodzaju chodu oraz stabilności statycznej i dynamicznej tych systemów;
- systemami typu człowiek-maszyna, a zwłaszcza biomechanicznymi aspektami manipulacji, lokomocji i sztucznej inteligencji (Craig, 1993; Morecki i Knapczyk ,1993; Olszewski i in., 1992; Juszka, 2006).

Analizując literaturę specjalistyczną, należy stwierdzić, iż nie istnieją w pełni sformalizowane kryteria klasyfikacji robotów. Na potrzeby niniejszego opracowania usystematyzowano je m.in. według: sterowania, przeznaczenia, sposobu poruszania, właściwości geometrycznych, budowy jednostki kinematycznej i rodzaju napędu. (Asimo.pl, 2013; Rygadło, 2013; Zdanewicz, 2010).

Ze względu na poziom zaawansowania układu sterownia, można wyróżnić 3 generacje robotów:

- roboty pierwszej generacji, programowe (nauczane), to roboty z otwartym układem sterowania, wykonujące program działania bezwarunkowo, niezależnie od stanu otoczenia. Mogą być wyposażone w elementy sprzężenia wewnętrznego, dla potrzeb sterowania wykorzystuje się wówczas informację z czujników śledzenia stanów wewnętrznych (np. serwomechanizmy). Do tej generacji zalicza się m.in. roboty przemysłowe, przeznaczone do podawania i odbierania obiektów z linii produkcyjnej. Sterowanie odbywa się względem podstawy robota;
- roboty drugiej generacji, adaptacyjne (uczące się), wyposażone są w czujniki zewnętrzne (dotykowe, wizyjne), umożliwiające realizację sprzężenia zwrotnego, które pozwala na kontrolę stanu otoczenia w określonych punktach programu sterującego. Ta cecha, polegająca na warunkowym wykonywaniu programu sterującego, umożliwia adaptację robota do stanu otoczenia. Roboty drugiej generacji mają ograniczoną możliwość rozróżniania kształtów i położenia obiektów. Sterowanie odbywa się tu względem przedmiotu manipulacji;
- roboty trzeciej generacji (inteligentne) są wyposażone w układy sensoryczne i elementy sztucznej inteligencji. Ich układy sterownia działają według niezdeterminowanego opisu; realizując zadania, wykorzystują model otoczenia wytworzony przez czujniki. Z ich algorytmu działania został wyeliminowany opis czynności manipulacyjnych na rzecz opisu jedynie zadań, jakie robot ma wykonać. Układ sterownia w sposób automatyczny tworzy odpowiedni harmonogram realizacji zadań i planuje operacje umożliwiające ich realizację. Roboty trzeciej generacji są przystosowane do działania w nieznanym środowisku. Sterowanie odbywa się względem otoczenia (Rygadło, 2013; Zdanewicz, 2010).

Przyjmując przeznaczenie, jako kryterium klasyfikacji, można wyróżnić roboty do realizacji następujących celów:

- badań naukowych;
- wojskowych i policyjnych;
- zastosowania w gospodarstwach domowych;
- usługowych sektora publicznego;
- przemysłowych;
- rolniczych;
- badawczych pod wodą;
- badawczych w przestrzeni kosmicznej;
- medycznych (w tym egzoszkielety);
- rozrywki, zabawy i edukacji;
- społecznych, terapeutycznych.

Kierując się sposobem poruszania, jako kryterium podziału robotów, należy wyróżnić następujące rodzaje robotów:

- lądowe:
- stacjonarne, niewyposażone w układ napędowy do poruszania się;

– mobilne, wyposażone w układ napędowy do poruszania się:
  - kołowe;
  - kroczące;
  - skaczące;
  - pełzające;
  - toczące się;
  - poruszające się poprzez adhezję;
  - poruszające się na gąsienicach;
  - poruszające się dzięki śrubom;
  - poruszające się dzięki zmianie kształtu;
– podwodne i poruszające się na wodzie;
– powietrzne;
– wodno-lądowe;
– wodno-powietrzne.

Szczególną pozycję w gospodarce zajmują roboty przemysłowe, stąd przedstawiono dla nich odrębną systematykę. Biorąc pod uwagę kryterium podziału robotów przemysłowych ze względu na zdolność przemieszczania się i własności geometryczne (struktura łańcucha kinematycznego), należy wyróżnić następujące rodzaje robotów:
– stacjonarne:
  - o szeregowej strukturze kinematycznej (z otwartym łańcuchem kinematycznym):
    - kartezjańskie;
    - cylindryczne;
    - sferyczne;
    - typu SCARA;
    - antropomorficzne;
  - o równoległej strukturze kinematycznej (z zamkniętym łańcuchem kinematycznym – roboty równoległe):
    - trójramienne (tripody);
    - sześcioramienne (hexapody).
  - hybrydowe;
– mobilne:
  - poruszające się po stałym torze;
  - poruszające się automatycznie.

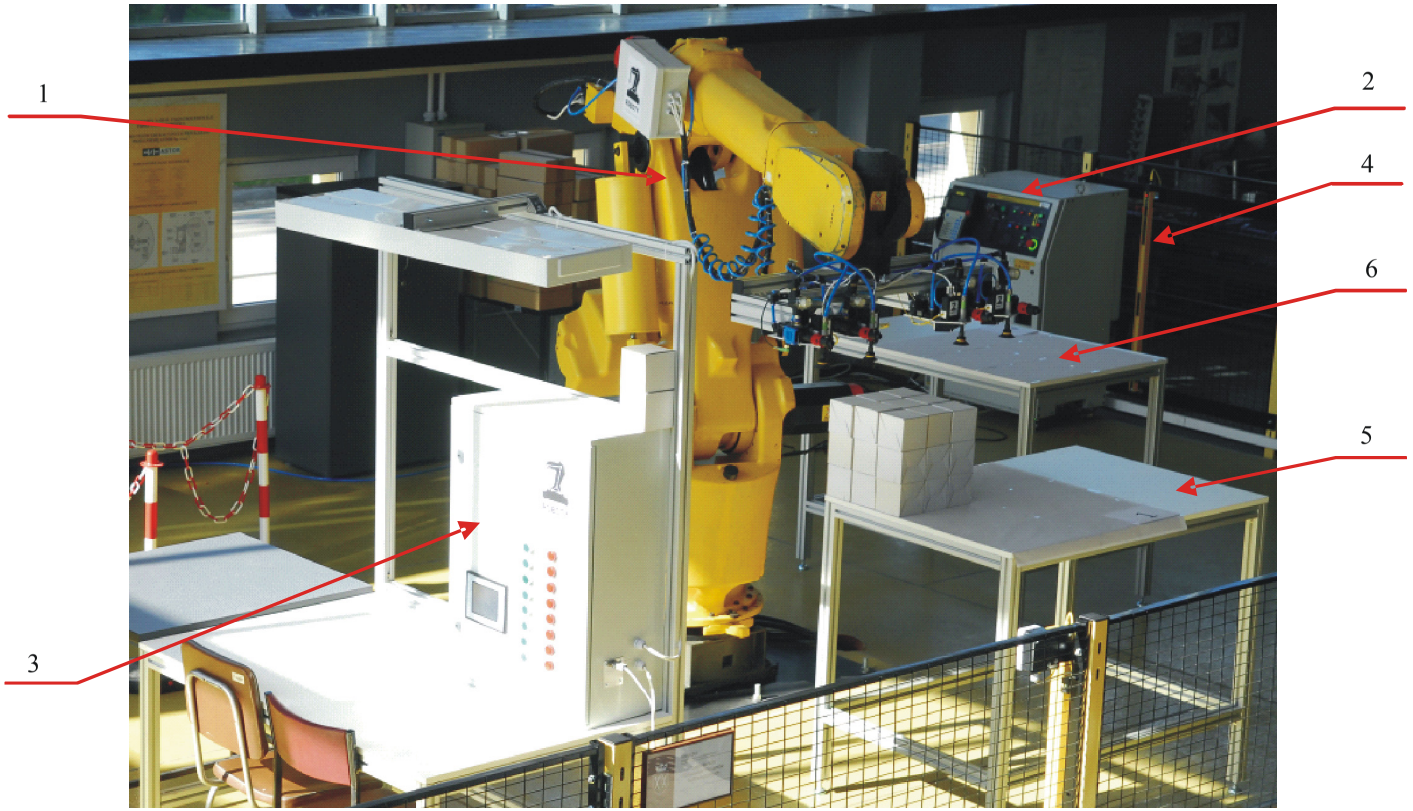
Kierując się rodzajem zastosowanego napędu jako kryterium klasyfikacji, można wyróżnić roboty z napędem:
– pneumatycznym;
– hydraulicznym;
– elektrycznym;
– mieszanym.

Na podstawie budowy jednostki kinematycznej roboty przemysłowe można podzielić na:
– monolityczne, o jednolitej konstrukcji mechanizmu jednostki kinematycznej;
– modułowe, o zmiennej konstrukcji mechanizmu jednostki kinematycznej;
– pseudomodułowe, o jednolitej konstrukcji mechanizmu jednostki kinematycznej z możliwością wymiany wybranych elementów.

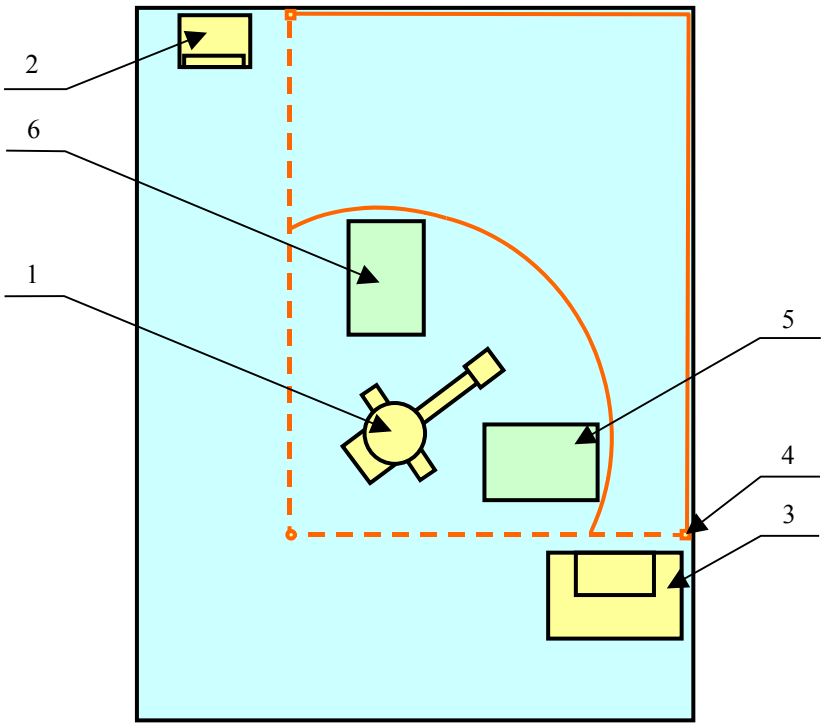
2. ROBOT PRZEMYSŁOWY FANUC S420I F

Rolnictwo wraz z przemysłem spożywczym stanowią jedne z najważniejszych i najszybciej rozwijających się dziedzin polskiej gospodarki. Udział przemysłu spożywczego w całkowitej wartości sprzedaży przemysłu jest znaczący i wynosi blisko 24% (Knap-Stefaniuk, 2010). Przedsiębiorstwa tej branży, aby pozostać konkurencyjnymi i utrzymać pozycję na rynku, muszą inwestować w nowoczesne technologie – wprowadzać automaty produkcyjne i roboty. Wdrożenie nowoczesnych systemów technicznych, a przez to ograniczenie ingerencji człowieka w proces produkcyjny, pozwala na poprawę bezpieczeństwa pracy, obniżenie kosztów oraz zwiększenie wydajności i elastyczności produkcji. Nie bez znaczenia jest również możliwość uzyskania i dotrzymania wysokich standardów jakościowych, trudnych do osiągnięcia przy wykorzystaniu tradycyjnych metod produkcji (Barczyk i Jarzembski 2004; Barczyk, 2007). Cechą charakterystyczną przemysłu rolno-spożywczego utrudniającą automatyzację i robotyzację produkcji, jest duża różnorodność parametrów surowców poddawanych obróbce. Świadomość złożoności zagadnień towarzyszących wykorzystaniu robotów na linii produkcyjnej przyczyniła się do wyboru przez Autorów jako przedmiotu zainteresowań badawczych problematyki dotyczącej robotyzacji produkcji przemysłu spożywczego. Podjęto badania nad robotyzacją procesu pakowania, bowiem w przemyśle rolno-spożywczym konieczność wprowadzenia automatyzacji i robotyzacji najczęściej dotyczy tego typu czynności. Schemat zrobotyzowanego stanowiska do badań procesu pakowania i paletyzacji w Laboratorium Robotyzacji Procesów Technologicznych na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki UR w Krakowie przedstawiono na rysunku 2, a jego widok ogólny na rysunku 1.

Stanowisko ma charakter otwarty i zapewnia możliwość przebudowy oraz dostosowania do indywidualnych potrzeb procesu produkcji rolno-spożywczej. Podstawowym elementem stanowiska jest robot przemysłowy (1) firmy FANUC S420i F z kontrolerem R-J21 (2). Współpracuje z nim zintegrowany z panelem operatorskim programowalny sterownik PLC (3) firmy HORNER HE-QX351. Komunikacja pomiędzy robotem i sterownikiem realizowana jest przy wykorzystaniu sieci Profibus. Bezpieczeństwo pracy na stanowisku zapewnia kontrolowany za pomocą sterownika system bezpieczeństwa z kurtyną świetlną (4). Przedmioty do pakowania układane są na dwóch stołach (5 i 6). Obok panelu operatorskiego sterownika PLC znajduje się wyłącznik awaryjny i inny niezbędny osprzęt do obsługi stanowiska. Konstrukcja stołów i modułu ze sterownikiem PLC wykonana jest z profili aluminiowych, zatem w razie konieczności pozwala na ich rozbudowę.



Rysunek 1. Widok stanowiska badawczego: 1 – manipulator robota FANUC S420i F, 2 – kontroler wraz z podłączonym ręcznym programatorem (TEACH PENDANT), 3 – panel operatorski ze sterownikiem programowalnym PLC firmy HORNER HE-QX351, 4 – elementy bariery świetlnej, 5 – stół „1”, 6 – stół „2”



Rysunek 2. Schemat ogólny stanowiska badawczego: 1 – manipulator robota FANUC S420i F, 2 – kontroler wraz z podłączonym ręcznym programatorem (TEACH PENDANT), 3 – panel operatorski ze sterownikiem programowalnym PLC firmy HORNER HE-QX351, 4 – elementy bariery świetlnej, 5 – stół „1”, 6 – stół „2”

2.1. Manipulator

Manipulator stanowi jeden z podstawowych elementów składowych robota przemysłowego. Jest układem ramion połączonych ze sobą przegubami zapewniającymi konstrukcji możliwość ruchu. W jego strukturze pojedynczy przegub wraz z następującym po nim ramieniem stanowi podstawowe ogniwo łańcucha kinematycznego. Działanie manipulatora polega na wykonywaniu czynności manipulacyjnych, zadanych przez układ sterowania robota. Każdy ruch manipulatora może być kontrolowany i ograniczony.

Do podstawowych parametrów manipulatora należą:

– liczba stopni swobody, która decyduje o jego możliwościach ruchowych;
– udźwig, czyli maksymalna masa obiektu, jaki robot może podnieść i przemieszczać;
– zasięg, oznaczający poziomą odległość (promień obszaru), w ramach której robot może wykonywać czynności manipulacyjne;

– powtarzalność, związana z precyzją ruchów, określająca dokładność, z jaką robot powróci do żądanego punktu w przestrzeni;
– prędkość ruchu, oznaczająca maksymalną szybkość, z jaką poruszają się poszczególne ogniwa łańcucha kinematycznego; podawana jest w: $°\cdot s^{-1}$, $rad\cdot s^{-1}$ lub $mm\cdot s^{-1}$.

W przypadku robota FANUC S420i F, zilustrowanego na rysunku 2, manipulator jest konstrukcją o sześciu stopniach swobody, maksymalnym zasięgu 2,405 m, masie 1400 kg i udźwigu członu wykonawczego, czyli na tzw. kiści 120 kg. Może działać w środowisku o maksymalnej wilgotności do 75%, z powtarzalnością ± 0,4 mm i przy maksymalnym dopuszczanym przyśpieszeniu elementu roboczego 4,9 $m\cdot s^{-2}$. Wymienione parametry manipulatora przedstawiono w tabeli 1.

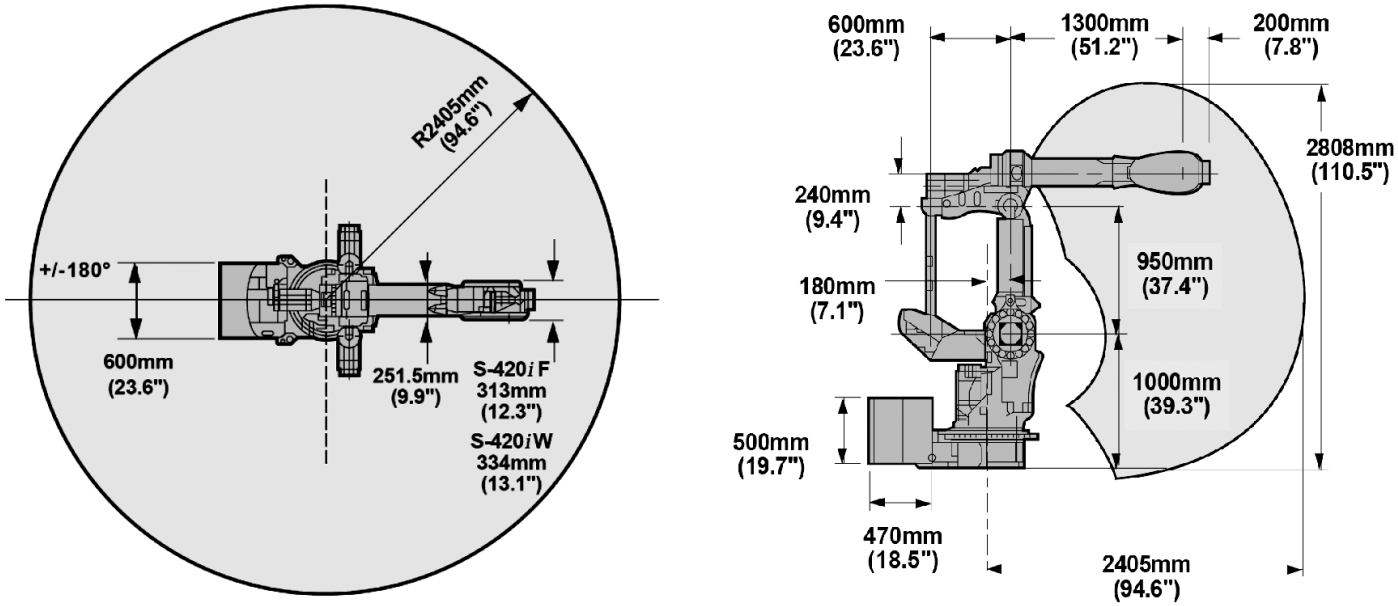
Tabela 1. Dane techniczne robota FANUC S420i F

Nazwa	FANUC Robot S-420i F
Nr jednostki mechanicznej	A05B--1313--B501
Numer modelu	R96203074
Masa	1400 (kg)
Typ robota	Przegubowy
Typ montażu	Podłogowy
Zasięg maksymalny	2,405 (m)
Udźwig na kiści	120 (kg)
Udźwig na ramieniu J3	20 (kg)
Udźwig na bazie J2	250 (kg)
Liczba kontrolowanych osi	6 (J1,J2,J3,J4,J5,J6)
Powtarzalność	± 0,4 (mm)
Maksymalna wilgotność względna	75 (%) lub mniej
Maksymalne dopuszczalne przyspieszenie elementu roboczego	4,9 ($m\cdot s^{-2}$)

Źródło: Fanuc Ltd., 1996

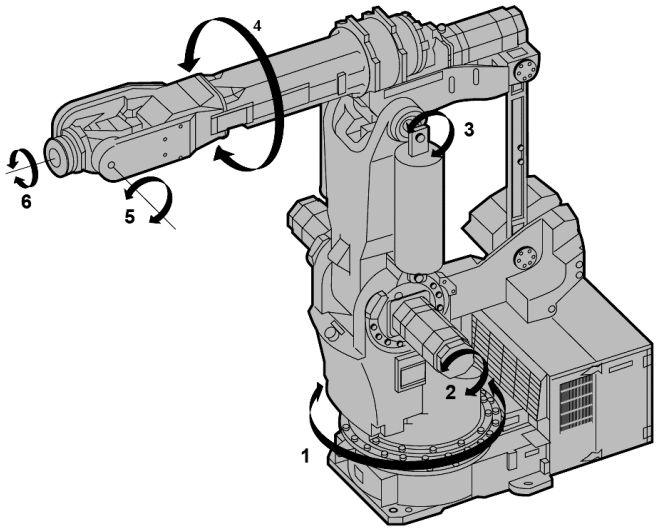
Scharakteryzowane w powyższej tabeli podstawowe wymiary i zakres roboczy robota zilustrowano na rysunku 3.

Manipulator robota S-420i F z zaznaczonymi osiami ruchu przedstawia rysunek 4.



Rysunek 3. Podstawowe wymiary i zakres roboczy

Źródło: Fanuc Ltd., 1996



Rysunek 4. Manipulator robota S-420i F z zaznaczonymi sześcioma osiami ruchu, gdzie: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – osie obrotów manipulatora

Źródło: Fanuc Ltd., 1996

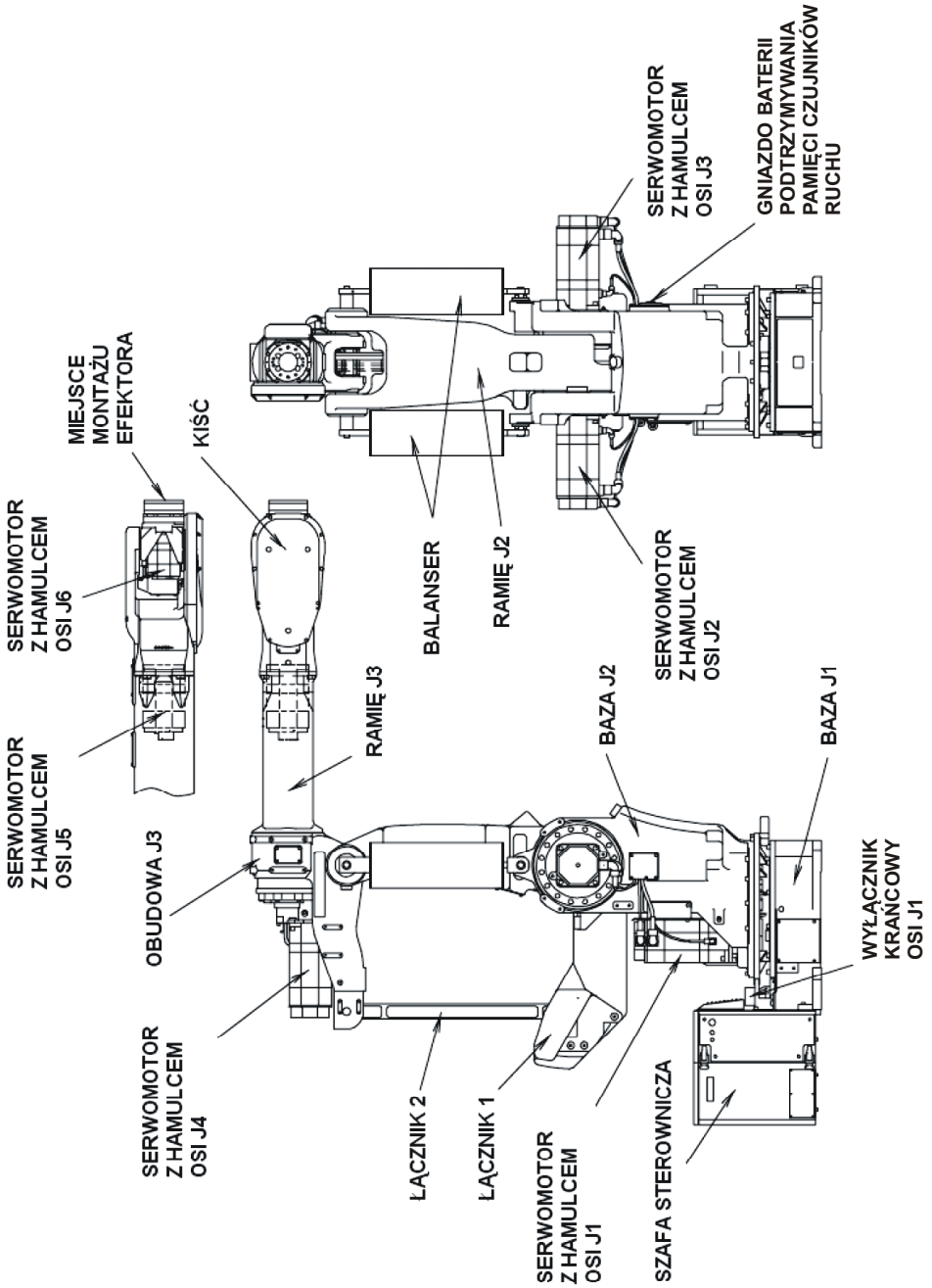
Poszczególne osie manipulatora napędzane są silnikami prądu zmiennego za pośrednictwem przekładni. Po osiągnięciu przez ogniwa łańcucha kinematycznego zadanych pozycji napędy są blokowane przez elektrycznie sterowane hamulce. Współrzędne położenia osi mierzone są koderami przyrostowymi. Informacja uzyskana w ten sposób jest zachowywana w pamięci nawet po wyłączeniu sterownika dzięki podtrzymaniu bateryjnemu zasilania. Maksymalne zakresy i prędkości pracy osi manipulatora robota FANUC S420i F przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Maksymalne zakresy i prędkości pracy robota FANUC S420i F

Oś	Zakres ruchu	Maksymalna prędkość kątowa
	° (rad)	$°\cdot s^{-1}$ ($rad\cdot s^{-1}$)
J1	360 (6.28)	100 (1.75)
J2	142 (2.48)	110 (1.92)
J3	135 (2.36)	100 (1.75)
J4	600 (10.47)	210 (3.67)
J5	260 (4.54)	150 (2.62)
J6	720 (12.57)	210 (3.67)

Źródło: Fanuc Ltd., 1996

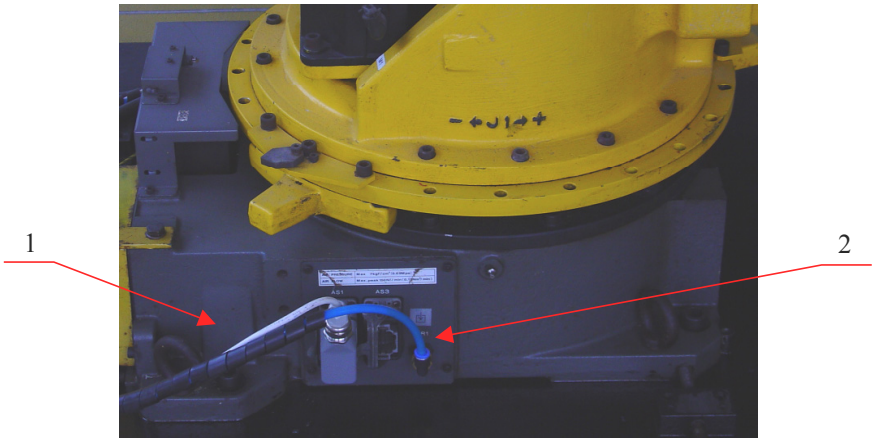
Budowę manipulatora robota FANUC S420i F wraz z opisem poszczególnych elementów funkcjonalnych przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Konstrukcja manipulatora

Źródło: Fanuc Ltd., 1996

Analizując rysunek 5, można wyróżnić szereg elementów wchodzących w skład manipulatora. Pierwszy z nich, który należy omówić, to baza J1. Jest ona rodzajem podstawy, na której osadzone są pozostałe części manipulatora. Baza ma istotne znaczenie dla stabilności i precyzji pozycjonowania pozostałych elementów manipulatora podczas pracy. Od dokładności jej ustawienia, wyważenia i pozycjonowania zależy niezawodność pracy robota. W bazie J1 znajduje się tzw. panel podstawy (2), do którego podłączony jest m.in. układ pneumatyczny, zasilający chwytak (rys. 6).



Rysunek 6. Baza J1 manipulatora robota FANUC S420i F*:* 1 – baza J1, 2 – panel podstawy

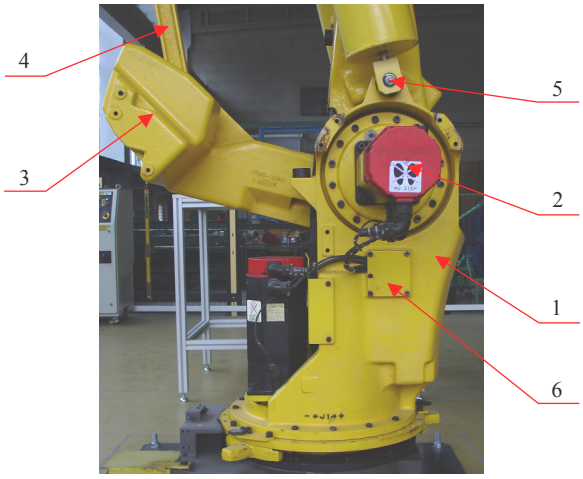
Następnym elementem robota jest baza J2. Jest to masywny element wykonujący ruch obrotowy ± 180°, w stosunku do podstawy (ze względu na zasilanie elektryczne niemożliwe jest wykonanie pełnego obrotu o kąt 360^{o} wokół własnej osi). Dzięki znacznej masie bazy J2 manipulator zyskuje obniżony środek ciężkości, co zwiększa jego stabilność. W bazie J2 zamontowane są 3 serwomotory, z których jeden służy do napędu samej bazy, a dwa pozostałe do poruszania ramionami J2 i J3 (element J3 napędzany jest za pośrednictwem łączników 1 i 2). Do bazy J2 zamocowane są także 2 balancery, będące elementami tłumiącymi drgania oraz niepożądane przyśpieszenia opadania i podnoszenia ramienia. Balancery jako elementy zamocowane na najniższym członie manipulatora pełnią rolę przeciwwagi dla podnoszonego ładunku. Balancer jest konstrukcją składającą się z cylindra i znajdującego się wewnątrz tłoka z zaworami dławiącymi przepływ powietrza (rys. 7).

Kolejnym elementem w łańcuchu kinematycznym manipulatora jest ramię J2. Jest ono usytuowane w środkowej części manipulatora pomiędzy bazą J2 na dole, a ramieniem J3 u góry. Jest to ramię, które podczas przenoszenia towaru na pełnym wychyleniu jest szczególnie narażone na działanie dużych sił gnących. Jego budowa, przy możliwie minimalnej masie, pod względem wytrzymałościowym musi dorównywać bazie J2 (rys. 8).

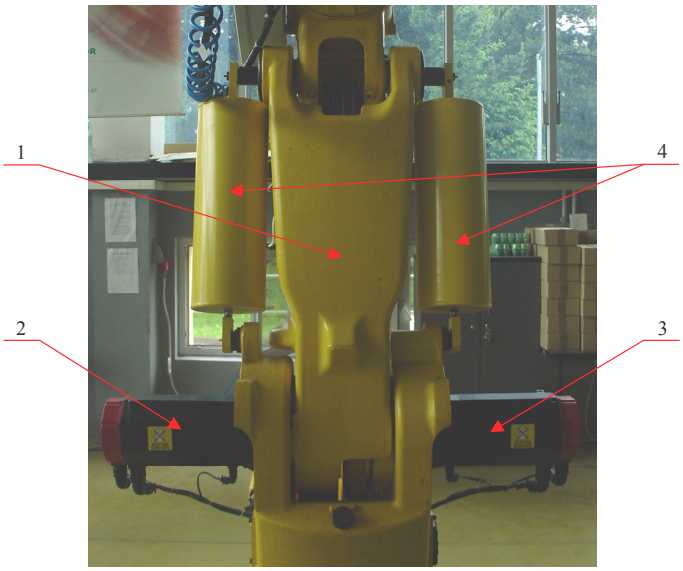
Następnym elementem manipulatora jest wykonujące ruch w płaszczyźnie wertykalnej ramię J3. Jest ono napędzane za pośrednictwem łączników 1 i 2 przez serwomotor znajdujący się na ramieniu J2. Struktura ramienia ma przekrój kołowy, wewnątrz którego poprowadzony i ułożyskowany jest wał odpowiedzialny za ruch kolejnego elementu manipulatora, mianowicie osi J4. Napęd tej osi zapewnia serwomotor zamocowany w ramieniu J3. Oś

J4 zakończona jest członem wykonawczym (kiścią) i realizuje jego odchylenie (ruch obrotowy ± 180°). Nachylenie kiści zapewnia serwomotor osi J5, a jej obrót serwomotor napędzający oś J6 (rys. 9).

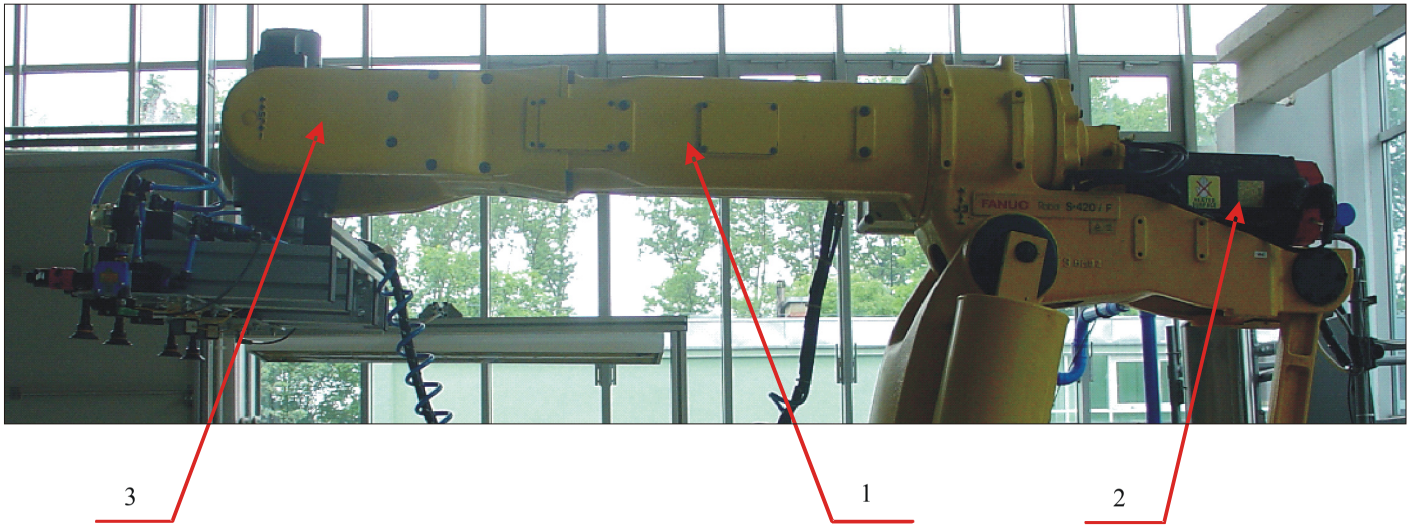
Do kiści (oś J6) zamocowany jest chwytak podciśnieniowy wyposażony w 4 przyssawki zasilane podciśnieniem przez ejektory (rys. 10).



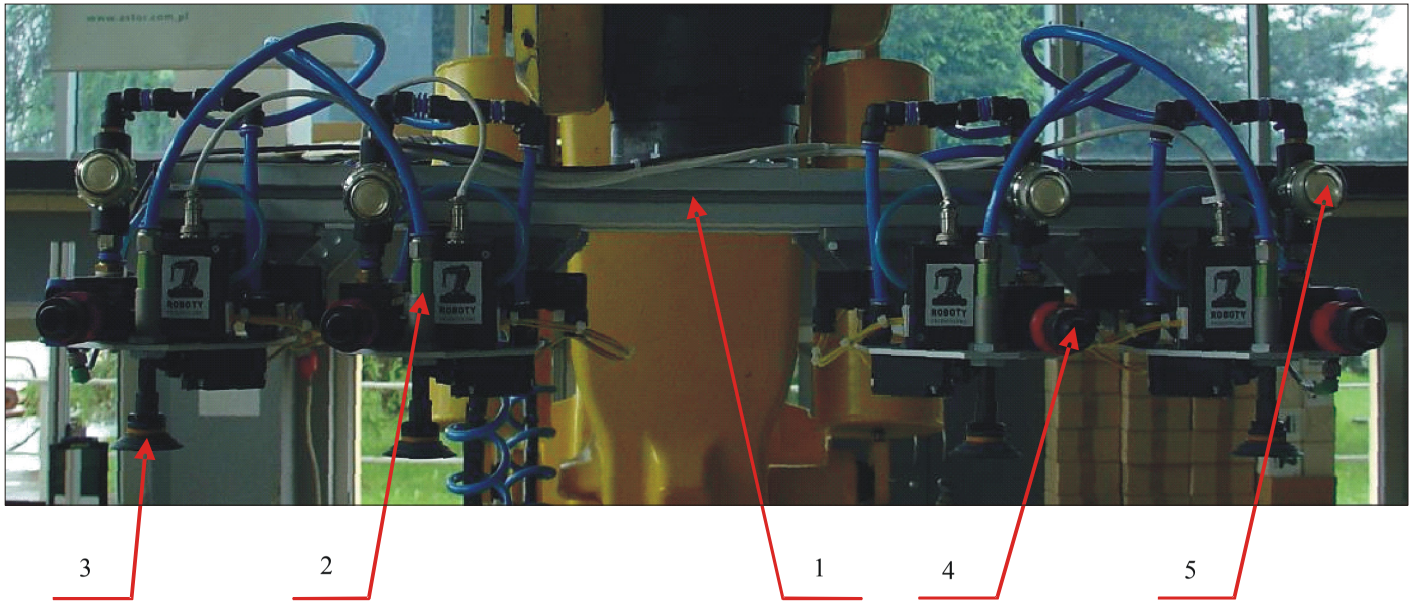
Rysunek 7. Baza J2 manipulatora robota FANUC S420i F*:* 1 – baza J2, 2 – napęd osi J3, 3 – łącznik 2, 4 – łącznik 1, 5 – mocowanie balancera, 6 – gniazdo baterii podtrzymania pamięci czujników ruchu



Rysunek 8. Ramię J2 manipulatora robota FANUC S420i F*:* 1 – ramię J2, 2 – napęd ramienia J2, 3 – napęd ramienia J3, 4 – balancery



Rysunek 9. Ramię J3 wraz z osiami J4, J5, J6 manipulatora robota FANUC S420i F: 1 – ramię J3, 2 – napęd ramienia J4, 3 – kiść (osie J5, J6)



Rysunek 10. Widok ogólny chwytaka pneumatycznego*:* 1 – aluminiowy profil, 2 – kompensator poziomu, 3 – przyssawka, 4 – eżektor, 5 – filtr próżni

Konstrukcja tego chwytaka jest wykonana z aluminiowych profili, co pozwala na szybką przebudowę/modyfikację w celu dostosowania do zmieniających się warunków procesu. Chwytak podzielony jest na 4 sekcje z indywidualnie sterowanym podciśnieniem. Od dołu przed uszkodzeniem wywołanym kolizją z elementami otoczenia podczas ruchu w płaszczyźnie wertykalnej chwytak ten zabezpieczony jest przy pomocy kompensatorów poziomu, do których zamontowane są przyssawki. Do mocowania przyssawek zastosowano połączenie gwintowe, dzięki temu możliwa jest ich szybka wymiana, jeżeli charakter procesu tego wymaga. Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono przykładowe przyssawki firmy Piab (BX 52P i F50-2) wykorzystywane na stanowisku badawczym.

Rysunek 11. Przyssawka Piab BX 52P*:* 1 – mocowanie, 2 – mieszek, 3 – przyssawka

Rysunek 12. Przyssawka Piab F50-2*:* 1 – mocowanie, 2 – przyssawka

Przyssawka BX 52P wykonana jest z dwóch rodzajów materiału o różnej twardości. W jej konstrukcji można wyróżnić miękki mieszek i elastyczną przyssawkę. Charakteryzuje się ona elastycznością i dobrymi właściwościami uszczelniającymi, zabezpieczającymi przed upuszczeniem przenoszonego przedmiotu. Elastyczność jest zaletą w przypadku pakowania obiektów o nieregularnych kształtach typowych dla branży rolno-spożywczej, takich jak jaja czy pomidory; uzyskuje się wówczas dzięki tej właściwości dobre przyleganie przyssawki do powierzchni i w efekcie szczelność połączenia, co zapobiega odpadnięciu przenoszonego obiektu. Jednak już w przypadku kiedy proces pakowania dotyczy kar-

tonów, gdy większego znaczenia nabiera rozmiar i masa przenoszonego obiektu, wówczas elastyczność przyssawki niekorzystnie wpływa na pewność chwytną przenoszonych obiektów. Podczas ruchu wskutek działania siły odśrodkowej przenoszony obiekt odchyla się od pionowej osi symetrii przyssawki, co może wywołać kolizję z elementami otoczenia lub spowodować utratę szczelności pomiędzy przyssawką a powierzchnią obiektu i w efekcie wywołać jego odpadnięcie.

Druga z przedstawionych przyssawek – F50-2, odznacza się niewielkim ugięciem pionowym mieszka. Ożebrowanie na jej wewnętrznej stronie wargi zapobiega deformacji delikatnych i cienkich obiektów podczas ich przenoszenia. Przyssawka F50-2 to typowa przyssawka przeznaczona do takich aplikacji, jak przenoszenie opakowań kartonowych. Ze względu na jej cechy (duża sztywność) nie można jej jednak wykorzystać do przenoszenia obiektów o nieregularnych kształtach charakterystycznych dla branży rolno-spożywczej.

2.2. Układ sterowania

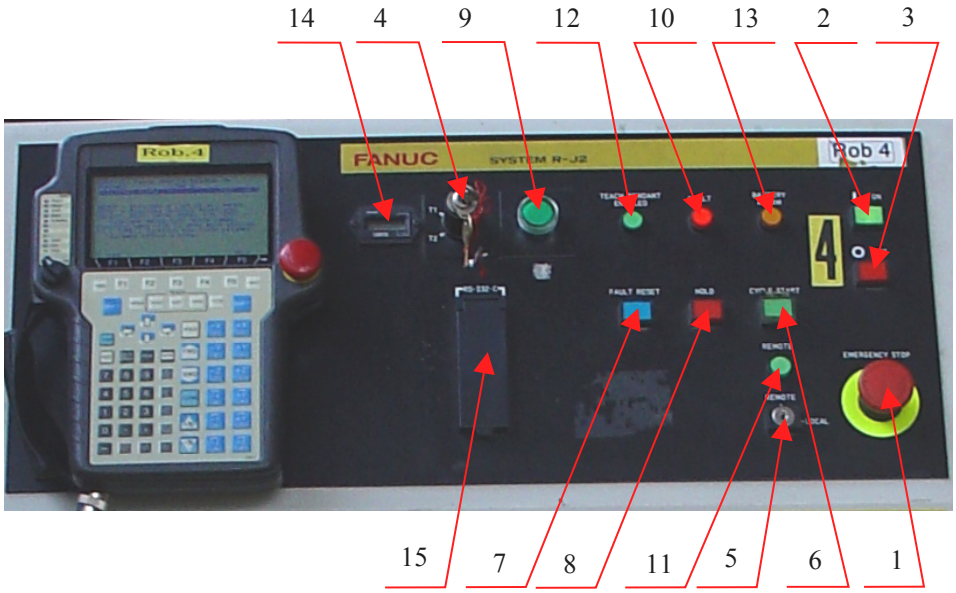
W skład układu sterowania robota przemysłowego FANUC S420i F wchodzi kontroler wraz z głównym pulpitem sterowniczym i ręcznym programatorem – TEACH PENDANT-em.

Kontroler R-J2 to jeden z podstawowych zespołów robota. Jest elementem sterującym, który na podstawie zapisanego w pamięci programu i informacji z czujników położenia, zainstalowanych w manipulatorze, oblicza sygnały sterujące czynnościami manipulacyjnymi, składającymi się na realizowane przez manipulator operacje (rys. 13).

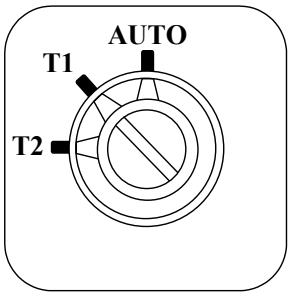
Rysunek 13. Kontroler R-J2*:* 1 – panel operatorski, 2 – wyłącznik główny, 3 – ręczny programator

Przy jego pomocy następuje wymiana informacji pomiędzy ręcznym programatorem a manipulatorem oraz urządzeniami zewnętrznymi. Kontroler wyposażony jest w umieszczony na jego płycie zewnętrznej pulpit sterowniczy, który umożliwia realizację takich funkcji, jak (rys. 14, 15):

- załączenie/wyłączenie robota;
- awaryjne zatrzymanie manipulatora;
- przełączanie pomiędzy trybami pracy;
- wybór źródła sterowania (wewnętrzne lub zewnętrzne);
- uruchomienie programu;
- kasowanie błędów;
- wyłączenie awaryjne;
- ponowne ustawienie systemu bezpieczeństwa;
- zliczanie godzin pracy urządzenia;
- podłączenie drukarki lub stacji dyskietek (port RS-232C);
- sygnalizację:
  - błędów;
  - trybu sterowania;
  - działania ręcznego programatora;
  - niskiego poziomu naładowania baterii podtrzymujących pamięć czujników ruchu.



Rysunek 14. Pulpit sterowniczy: 1 – wyłącznik awaryjny, 2 – włącznik zasilania, 3 – wyłącznik zasilania, 4 – wybór trybu pracy, 5 – wybór źródła sterowania robotem (wewnętrzne lub zewnętrzne), 6 – uruchomienie wcześniej wybranego programu, 7 – kasowanie błędów, 8 – bezpieczne zatrzymanie robota, 9 – reset systemu bezpieczeństwa, 10 – sygnalizacja błędów, 11 – sygnalizacja trybu sterowania zewnętrznego, 12 – sygnalizacja działania ręcznego programatora, 13 – sygnalizacja niskiego poziomu naładowania baterii podtrzymujących pamięć czujników ruchu, 14 – licznik czasu pracy urządzenia, 15 – port RS-232C



Rysunek 15. Stacyjka wyboru trybu pracy

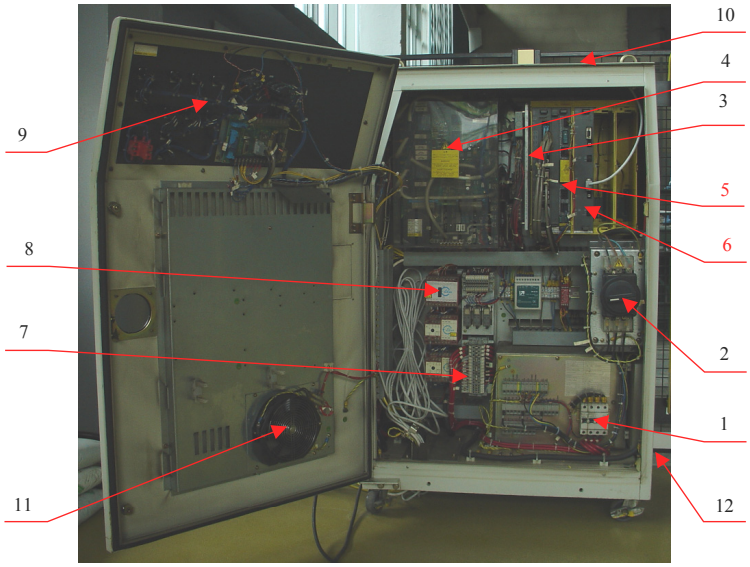
Szczegółowego omówienia wymaga element pulpitu sterowniczego istotny ze względu na procedurę uruchamiania robota przemysłowego, tj. stacyjka przełączania pomiędzy trybami pracy (rys. 15).

Stacyjka (rys. 15) umożliwia operatorowi wybór jednego z trzech trybów pracy. Po wyjęciu kluczyka ze stacyjki następuje blokada wybranego trybu. Przy zmianie trybów pracy system jest zatrzymywany, przechodzi w stan FAULT, na wyświetlaczu ręcznego programatora pojawia się komunikat o zmianie trybu pracy. Ponowne uruchomienie programu jest możliwe po wyzerowaniu błędu. Widoczne na rysunku 15 symbole T1 i T2 oznaczają testowe tryby pracy robota, służące do sprawdzenia napisanego programu. W trybie T1 robot pracuje przy ograniczonej prędkości do 250 $mm \cdot s^{-1}$. Program może być uruchomiony wyłącznie przy użyciu ręcznego programatora. Obwód bezpieczeństwa jest wyłączony. Tryb T2 pozwala na wykonywanie programu bez ograniczenia prędkości (v = 100%). Tak jak w przypadku poprzedniego trybu, program może być uruchomiony wyłącznie przy użyciu ręcznego programatora, a obwód bezpieczeństwa jest wyłączony. Ze względu na możliwość uruchomienia w tym trybie manipulatora przy pełnej prędkości, w sytuacji kiedy system bezpieczeństwa nie działa, zalecane jest zachowanie szczególnej ostrożności. Tryb AUTO – umożliwia automatyczną pracę urządzenia. W tym przypadku pulpit sterowniczy na kontrolerze (lub zewnętrzny) zostaje włączony. Program może być uruchomiony poprzez przycisk START z panelu operatora lub z zewnętrznego urządzenia poprzez wejścia/wyjścia. Możliwe jest także uruchomienie robota przy wykorzystaniu ręcznego programatora. W tym trybie pracy manipulator porusza się z pełną prędkością (v=100%). Obwód bezpieczeństwa jest włączony.

Kontroler zawiera następujące elementy funkcjonalne: zasilacz, układ sterujący serwonapędami robota, obwody WE/WY, płytę główną z CPU, układy pamięci (rys. 16).

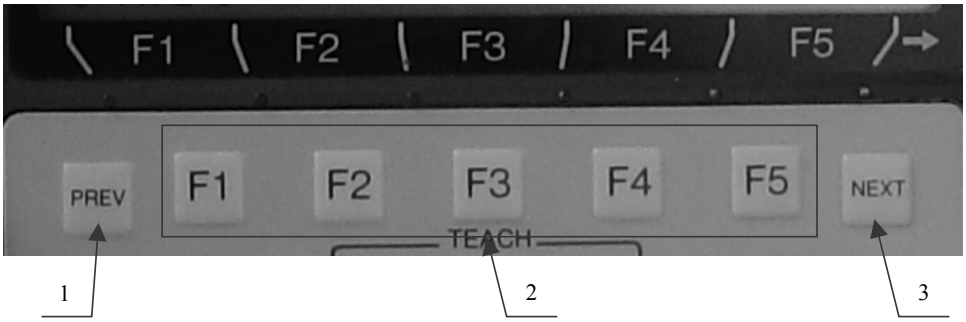
Kolejnym elementem systemu sterowania robotem przemysłowym jest ręczny programator – TEACH PENDANT. Urządzenie z kontrolerem połączone jest ekranowanym kablem. Posiada 40-znakowy, 16-linijkowy wyświetlacz LCD, 11 diod sygnalizacyjnych LED oraz klawiaturę zawierającą 61 przycisków, z których 7 użytkownik może skonfigurować do realizacji określonych funkcji przez robota (rys. 17).

Wszystkie przyciski funkcyjne i wykonawcze klawiatury ręcznego programatora są w odpowiedni sposób pogrupowane i zakodowane przy wykorzystaniu kolorów. Funkcjonalność klawiatury jest następująca. Pod ekranem LCD znajduje się pierwsza grupa przycisków; są to przyciski w kolorze szarym PREV i NEXT oraz oznaczone jako: F1, F2, F3, F4, F5 przyciski funkcyjne (rys. 18).



Rysunek 16. Kontroler R-J2*:* 1 – zasilacz, 2 – wyłącznik główny, 3 – płyta główna, 4 – serwowzmacniacz, 5 – sieć zbiorcza robota do PLC, 6 – przetwornik częstotliwości silników poruszających ramionami robota, 7 – jednostka awaryjnego zatrzymania robota (moduł E-Stop), 8 – przekaźniki elektromagnetyczne do sterowania systemem bezpieczeństwa i funkcjami chwytaka, 9 – pulpit sterowniczy, 10 – wlot powietrza wentylatora 1, 11 – wentylator 2, 12 – wlot powietrza wentylatora 3

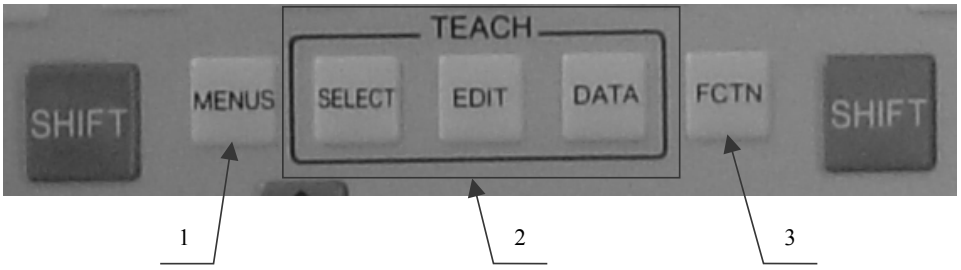
Rysunek 17. Programator ręczny *(TEACH PENDANT): 1* – wyświetlacz LCD, 2 – diody sygnalizacyjne LED, 3 – klawiatura, 4 – wyłącznik zasilania



Rysunek 18. Przyciski funkcyjne ręcznego programatora*:* 1 – PREV, przewijanie do tyłu, 2 – przyciski funkcyjne, 3 – NEXT, przewijanie do przodu

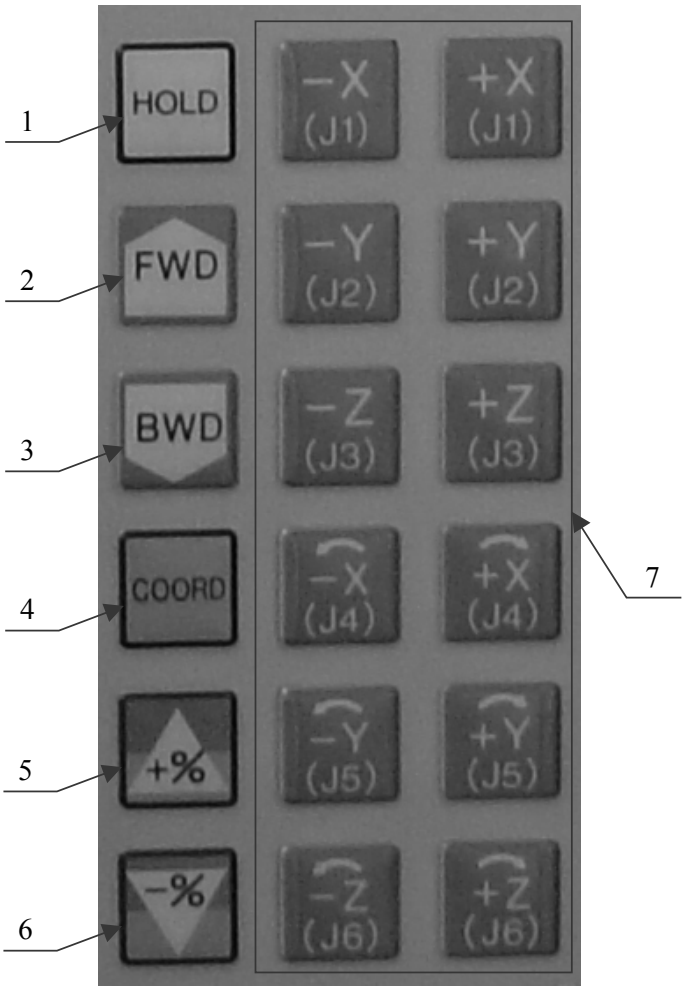
Klawisz PREV zapewnia przewijanie do tyłu, a NEXT przewijanie do przodu. Przyciski funkcyjne F1, F2, F3, F4 i F5 odpowiedzialne są za wyświetlenie funkcji menu z ostatniej linii wyświetlacza, pozwalają na wybór odpowiedniej funkcji, która będzie realizowana.

Następna grupa przycisków przywołuje funkcje menu głównego i dodatkowego oraz edycję wybranych funkcji i poruszania się wewnątrz menu (rys. 19).



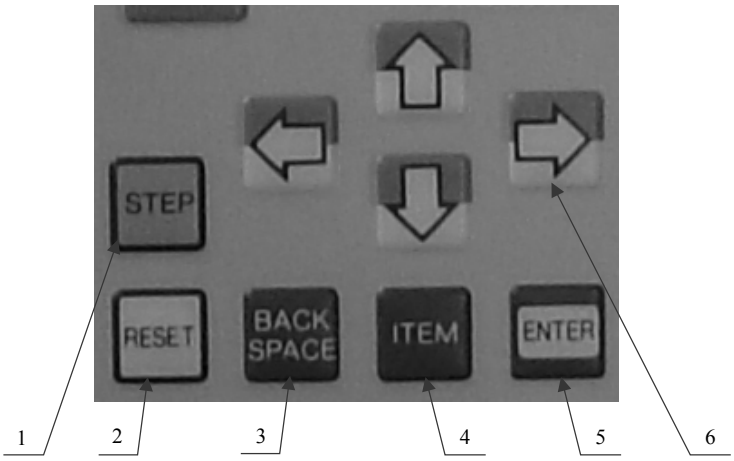
Rysunek 19. Przyciski menu ręcznego programatora*:* 1 – MENU, przycisk uruchamia menu, 2 – SELECT, EDIT, DATA, przyciski używane dla wybranej funkcji menu, 3 – FCTN, przycisk menu dodatkowego

Poniżej przycisków menu po prawej stronie klawiatury znajduje się grupa klawiszy do sterowania czynnościami manipulacyjnymi robota (rys. 20).



Rysunek 20. Klawiatura doboru parametrów ruchu robota*:* 1 – HOLD: zatrzymanie robota, 2 – FWD: naprzód, używany do wykonania następnej czynności operatorskiej, 3 – BWD: cofaj, używany, aby powrócić do poprzedniej czynności operatorskiej, 4 – COORD: współrzędna, używany do zmiany układu współrzędnych, 5 – zmiany prędkości manipulatora, używany do zwiększenia prędkości w trakcie pracy robota, 6 – zmiany prędkości manipulatora, używany do zmniejszenia prędkości w trakcie pracy robota, 7 – grupa przycisków do manualnego wprowadzania położenia poszczególnych osi manipulatora

Poniżej przycisków menu od lewej na klawiaturze znajduje się kolejna grupa przycisków. Odpowiadają one za obsługuję ekranu wprowadzania danych (rys. 21).



Rysunek 21. Przyciski obsługi ekranu wprowadzania danych*:* 1 – STEP, użycie tego przycisku spowoduje wykonanie jednej pozycji programu i zatrzymanie manipulatora, 2 – RESET, kasowanie, użycie tego przycisku pozwala skasować błędy, 3 – BLACK SPACE, przycisk kasowania numeracji bezpośrednio przed kursorem, 4 – ITEM, użycie tego przycisku pozwala wybrać funkcję już używaną, 5 – ENTER, użycie przycisku pozwala wejść do numerycznej wartości lub wybrać pozycję z menu, 6 – przyciski przesuwania kursora

Poniżej przycisków obsługi ekranu po lewej stronie klawiatury znajduje się ostatnia grupa klawiszy, którą stanowi klawiatura numeryczna do wprowadzania wartości danych liczbowych oraz nieopisane przyciski, pod którymi możliwe jest „ukrycie" różnych czynności, np. serwisowych (rys. 22).

Rysunek 22. Klawiatura numeryczna wraz z przyciskami nieopisanymi*:* 1 – klawiatura numeryczna wprowadzania danych liczbowych, 2 – rezerwowe przyciski nieopisane

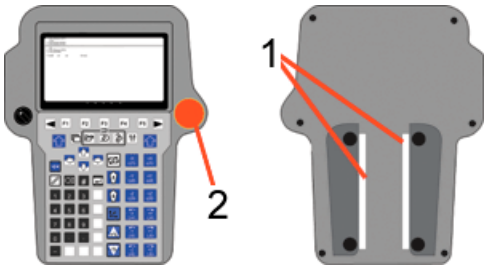
Za pomocą ręcznego programatora możliwe jest:

- wykonywanie i śledzenie czynności manipulacyjnych;
- zmiana prędkości ruchu manipulatora;
- pozycjonowanie;
- zmiana układu współrzędnych;
- tworzenie programów (gdy nie posiadamy opcjonalnego oprogramowania umożliwiającego tworzenie programów przy użyciu komputera PC);
- wykonywanie kopi programów;
- testowanie programów;
- kasowanie występujących błędów (Fanuc Ltd., 1996).

Ze względu na konieczność dotrzymania standardów bezpieczeństwa pracy na zrobotyzowanym stanowisku, urządzenie zostało wyposażone w przycisk bezpieczeństwa DEADMAN SWITCH oraz wyłącznik awaryjny (EMERGENCY STOP BUTON) (1 – rys. 23). DEADMAN SWITCH umieszczony jest w tylnej części ręcznego programatora i umożliwia pracę robota w dwóch trybach testowych T1 i T2 (rys. 15). W robotach starszej generacji DEADMAN SWITCH jest przyciskiem dwupozycyjnym, natomiast w nowszych konstrukcjach – trójpozycyjnym. W przypadku wersji dwupozycyjnej konieczne jest maksymalne wciśnięcie przycisku, natomiast w wersji trójpozycyjnej należy ustawić go w pozycji środkowej. Podczas pracy z robotem w trybach T1 i T2 przycisk DEADMAN SWITCH powinien być wciśnięty, jego zwolnienie powoduje całkowite zatrzymanie robota i wyświetlenie na ekranie ręcznego programatora komunikatu o błędzie: „Deadman switch released". Aby móc wznowić pracę, należy skasować błąd – w tym celu konieczne jest ponowne wciśnięcie przycisku DEADMAN SWITCH oraz klawisza RESET (2 – rys. 21). Tryb pracy AUTO nie wymaga wciśnięcia przycisku DEADMAN SWITCH.

Drugi z omawianych przycisków bezpieczeństwa, to EMERGENCY STOP BUTON. Znajduje się on w przedniej części programatora i wyróżnia się rozmiarem – jest to największy przycisk. Służy on do całkowitego zatrzymania robota, jeżeli zajdzie taka konieczność (Fanuc Ltd., 1996).

Jako urządzenie zewnętrzne z robotem współpracuje sterownik PLC Horner HE-QX351 (rys. 24).



Rysunek 23. Funkcje bezpieczeństwa ręcznego programatora: 1 – wyłącznik awaryjny (EMERGENCY STOP BUTON), 2 – przycisk bezpieczeństwa DEADMAN SWITCH

Rysunek 24. Pulpit sterowniczy ze sterownikiem PLC Horner HE-QX351

Źródło: Fanuc Ltd., 1996

Jest to sterownik modułowy typu All-in-One wyposażony w dwa mikroprocesory zapewniające szybką pracę oraz realizację złożonych algorytmów sterowania. Sterownik dysponuje rozbudowanymi możliwościami komunikacyjnymi – posiada: porty szeregowe, podstawowy port Ethernet, port CAN i port dla wymiennych nośników danych (MicroSD). Porty szeregowe mogą pracować w standardzie RS232/422/485. Odpowiadają one za wymianę danych w 20 protokołach komunikacyjnych. Sterownik został wyposażony w ekran dotykowy o przekątnej 5,7 cala.

2.3. Kalibracja robota przemysłowego

By robot przemysłowy mógł działać poprawnie, musi zostać poddany kalibracji (masteringowi). Operacja ta polega na określeniu punktów zerowych poszczególnych osi manipulatora. Punkty te stają się bazą dla układu sterowania do obliczenia kolejnych współrzędnych łańcucha kinematycznego. Pierwsza kalibracja robota jest przeprowadzana przez producenta. W trakcie eksploatacji robota istnieje jednak niebezpieczeństwo utraty danych pozycjonowania (m.in. rozładowanie baterii podtrzymujących pamięć czujników ruchu), wówczas robot wymaga ponownej kalibracji. Innym powodem (nie związanym z utratą danych) pociągającym za sobą konieczność przeprowadzenia ponownej kalibracji robota jest niedokładność odwzorowania zaprogramowanego toru ruchu.

Istnieje kilka metod kalibracji. Wybór metody podyktowany jest powodem przeprowadzenia tej operacji. W przypadku robotów firmy Fanuc, aby wykonać kalibrację, konieczne jest (Fanuc Ltd., 1996):

- skasowanie alarmów informujących o błędach;
- wywołanie z menu SYSTEM opcji MASTER/CAL;
- przesunięcie każdej osi do punktu kalibracji;
- zapisanie współrzędnych punktów kalibracji w systemie.

3. UKŁADY SENSORYCZNE W ROBOTYCE

Do prawidłowego funkcjonowania robotów wymagane są różnego rodzaju informacje. W przypadku robotów pierwszej generacji, wyposażonych w elementy wewnętrznego sprzężenia zwrotnego, są to informacje o stanach wewnętrznych urządzenia. W robotach drugiej i trzeciej generacji, gdzie realizowana jest kontrola stanu otoczenia, konieczne są informacje dostarczane z otoczenia robota. Te niezbędne do sterowania sygnały uzyskuje się za pomocą czujników. W tym wypadku czujniki należy podzielić na czujniki dostarczające informacje o parametrach charakteryzujących stan robota i czujniki dostarczające informacje o stanie środowiska. W pierwszym przypadku będą to sygnały dotyczące mechanizmów wykonawczych robota, a w drugim sygnały dotyczące obiektów znajdujących się w przestrzeni działania robota (Morecki i Knapczyk, 1993).

Czujniki nazywane sensorami są układami, które swoją reakcję na bodziec fizyczny (np. temperaturę, ciśnienie, itp.) przekształcają w sygnał mierzalny, np. elektryczny. Dostarczają informacji o otoczeniu, zachowaniu się urządzenia, maszyny lub obiektu sterowania. Informacja z czujnika musi być zrozumiała dla układu sterowania. Aby mogła ona być użyteczna, powinna mieć odpowiednią zawartość i postać. Zatem czujniki przekazują informacje:

– ilościowe (np. wartość temperatury wody);
– jakościowe (np. wartość temperatury wody jest mniejsza od dopuszczalnej).

Informacja powstaje dzięki wykorzystaniu różnych zjawisk fizycznych, np. zmiany rezystancji materiałów pod wpływem temperatury, rozszerzalności termicznej, efektu tensometrycznego itp. Informacja wejściowa jest często przekazywana w postaci innej wielkości fizycznej, nazywanej wielkością wyjściową. Przeważnie wielkości wyjściowe są sygnałami elektrycznymi, np. wartość zmiany napięcia lub prądu.

Czujniki możemy podzielić wg zasady wytwarzania sygnału na:

– aktywne (generacyjne) – energia potrzebna do przetwarzania jest czerpana bezpośrednio ze źródła sygnału wejściowego;
– pasywne (parametryczne) – konieczne jest zewnętrzne źródło zasilania.

Ze względu na postać sygnału wyjściowego można wyróżnić następujące czujniki:

– dwustanowe (binarne) – w czujnikach dwustanowych wartość wejściowa jest przetwarzana na dwie wartości wyjściowe (np. dolna/górna wartość rezystancji lub zwarte/rozwarte styki przekaźnika). Cechą charakterystyczną tych czujników jest pętla histerezy charakterystyki statycznej. Czujniki dwustanowe są stosowane jako czujniki obecności lub przekroczenia nastawionej wartości, a dość często pełnią funkcje regulatorów;
– analogowe – w tych czujnikach następuje odwzorowanie wielkości wejściowej na wielkość wyjściową w sposób ciągły. Charakterystyki rzeczywiste tych czujników są obarczone pewną histerezą. Stąd też charakterystyka czujnika ma postać pętli powodującej niejednoznaczność wielkości wyjściowej, gdy swoją wartość osiąga przy zwiększaniu a następnie zmniejszaniu wielkości wejściowej;

– cyfrowe – w czujnikach cyfrowych charakterystyka statyczna ma postać linii schodkowej. Zakres zmian wartości wejściowej jest podzielony na skończoną liczbę poziomów. Każdemu poziomowi sygnału wejściowego jest przyporządkowany określony kod zerojedynkowy (Morecki i Knapczyk, 1993).

Przy doborze czujników należy zwrócić uwagę na następujące oznaczenia i pojęcia:

– rozdzielczość, czyli najmniejszą możliwą do pomiaru zmianę wartości sygnału wejściowego;
– częstotliwość próbkowania, określaną jako odwrotność różnicy czasu pomiędzy dwiema kolejnymi próbkami;
– kod *IP*, informujący o warunkach pracy, do jakich przystosowany został czujnik.

3.1. Przegląd wybranych typów czujników

W opracowaniu przedstawiono przegląd wybranych czujników poszczególnych typów stosowanych w automatyzacji i robotyzacji procesów produkcyjnych. Omówiono następujące ich typy:

– indukcyjne;
– pojemnościowe;
– magnetyczne;
– ultradźwiękowe;
– kąta;
– obrotowo-impulsowe;
– optyczne;
– wyłączniki krańcowe.

3.1.1. Czujniki indukcyjne

Czujniki indukcyjne można podzielić na zbliżeniowe i ruchu.

Czujniki indukcyjne zbliżeniowe są elementami automatyki przemysłowej reagującymi na zbliżanie do ich aktywnej powierzchni (pola czujnika) metalu. Wykorzystywane jest w nich zjawisko zmiany pola elektromagnetycznego wskutek przemieszczania metalowego elementu. Zmienne pole magnetyczne wytwarzane przez czujniki wzbudza w elemencie będącym przewodnikiem prądy wirowe, a jeżeli element ten jest ferromagnetykiem – magnesuje go. Zjawiska te wpływają na kształtowanie sygnału wyjściowego. Czujniki indukcyjne mogą być zasilane prądem stałym lub prądem przemiennym. Wybrany czujnik tego rodzaju zilustrowano na rysunku 25.

Podstawowe dane charakteryzujące czujnik dalekiego zasięgu E2Q2 zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Wybrane parametry
czujnika indukcyjnego kwadratowego dalekiego zasięgu
E2Q2 firmy Omron

Zasilanie	10 ÷ 60(V) DC
Temperatura pracy	-25(°C) ÷ +70(°C)
Stopień ochrony	IP 67
Tolerancja	±10(%)

Rysunek 25. Czujnik indukcyjny kwadratowy dalekiego zasięgu E2Q2 firmy Omron

Źródło: Omron, 2013

Czujniki indukcyjne ruchu są elementami automatyki kontrolującymi ruch i sygnalizującymi przekroczenie prędkości progowej ruchu obrotowego i liniowego, jej obniżenie lub całkowite ustanie ruchu. Kontrolują pracę przenośników taśmowych, śrubowych, młynów, pomp, wirówek, mieszalników i innych urządzeń znajdujących się w ruchu. Tego rodzaju czujnik zilustrowano na rysunku 26.

Podstawowe parametry czujnika PCR15ZP przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wybrane parametry
czujnika indukcyjnego ruchu PRC10RN firmy Simex

Zasilanie	15 - 30 (V)DC
Temperatura pracy	-25(°C) ÷ +70(°C)
Stopień ochrony	IP 65
Tolerancja	±10(%)

Rysunek 26. Czujnik indukcyjny ruchu PCR15ZP firmy Simex

Źródło: Simex, 2013

3.1.2. Czujniki pojemnościowe

Jako przykłady czujników pojemnościowych wymieniono czujniki ruchu, zbliżeniowe i etykiet.

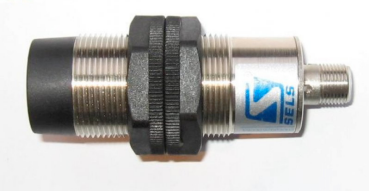
Czujniki pojemnościowe ruchu używane są do bezdotykowej detekcji wszelkiego typu materiałów. Typowe zastosowania to: zliczanie liczby detali, nadzór nad poziomem cieczy

w zbiornikach, wykrywanie materiałów ziarnistych i proszkowych, wykrywanie elementów z tworzyw sztucznych, szkła, drewna czy metalu lub wskazanie położenia materiału i in. Czujniki pojemnościowe ruchu zilustrowano na rysunkach 27 i 28.

W tabeli 5 przedstawiono parametry czujnika pojemnościowego PCPA20Z firmy Simex.

Tabela 5. Wybrane parametry czujnika pojemnościowego zbliżeniowego firmy Simex

Zasilanie	90 ÷ 250(V)AC
Pobór prądu	≤ 4(mA)
Stopień ochrony	IP 67
Powtarzalność	± 0,1(mm)



Rysunek 27. Czujnik pojemnościowy zbliżeniowy PCPA20Z firmy Simex

Źródło: Simex, 2013

Podstawowe parametry czujników CR 18-8DN2 i CR 30-15DN2 firmy Autonics przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wybrane parametry czujnika pojemnościowego zbliżeniowego CR 18-8DN2 i CR 30-15DN2 firmy Autonics

Zasilanie	12 ÷ 24(V) DC
Częstotliwość pracy	50(Hz)
Stopień ochrony	IP 65
Odległość detekcji	8mm ± 10(%)

Rysunek 28. Czujniki pojemnościowe zbliżeniowe CR 18-8DN2 i CR 30-15DN2 firmy Autonics

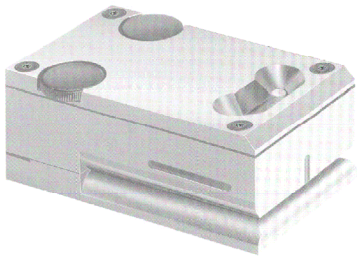
Źródło: Autonics, 2013

Czujniki pojemnościowe etykiet są przeznaczone do detekcji wszystkich rodzajów etykiet, również przezroczystych. Innym zastosowaniem jest detekcja dwóch warstw, punktów łączenia, jak również sprawdzanie ciągłości materiału etykiet (brak pęknięć). Czujniki pojemnościowe etykiet przedstawiono na rysunku 29.

Wybrane parametry czujnika pojemnościowego IPF etykiet zamieszczono w tabeli 7.

Tabela 7. Wybrane parametry czujnika pojemnościowego etykiet firmy IPF Electronic

Zasilanie	10 ÷ 30(V) DC
Pobór prądu	< 70(mA)
Stopień ochrony	IP 65
Prędkość przesuwu etykiet	< 500(m/min)



Rysunek 29. Czujnik pojemnościowy etykiet firmy IPF Electronic

Źródło: Ipf-electronic, 2013

3.1.3. Czujniki magnetyczne

Do czujników magnetycznych można zaliczyć czujniki zbliżeniowe ogólnego przeznaczenia i do zastosowań w siłownikach.

Czujniki magnetyczne zbliżeniowe to bezkontaktowe wyłączniki reagujące na pole magnetyczne (np. od magnesu stałego). Są jednym z typowych elementów automatyki przemysłowej (dźwigowej). Ich zaletą jest szeroki zakres napięć przełączania oraz krótki czas odpowiedzi na sygnał. Czujniki te nie wymagają zasilania. Czujnik magnetyczny zilustrowano na rysunku 30.

Podstawowe parametry czujnika magnetycznego zbliżeniowego HS01B przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Wybrane parametry czujnika magnetycznego zbliżeniowego HS01B z wejściem elektronicznym firmy Simex

Zasilanie	10 – 30(V)DC (-15 / +10%)
Wyjście	trójprzewodowe
Częstotliwość przełączania	10(kHz)
Prąd obciążenia	200(mA)

Rysunek 30. Czujnik magnetyczny zbliżeniowy HS01B z wejściem elektronicznym firmy Simex

Źródło: Simex, 2013

Inny przykład tego typu czujnika stanowi czujnik magnetyczny zbliżeniowy SM01 z wejściem stykowym (rys. 31).

Wybrane parametry czujnika magnetycznego zbliżeniowego SM01 przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Wybrane parametry czujnika magnetycznego zbliżeniowego SM01 z wejściem stykowym

Wyjście	dwuprzewodowe
Maksymalna częstotliwość przełączania	200(kHz)
Prąd obciążenia	0,04(A)
Maksymalne napięcie (chwilowe)	250(V)

Rysunek 31. Czujnik magnetyczny zbliżeniowy SM01 z wejściem stykowym

Źródło: Simex, 2013

Czujniki magnetyczne zbliżeniowe do siłowników przeznaczone są do wszystkich standardowych siłowników pneumatycznych z rowkiem montażowym typu T. Z adapterem mogą być także stosowane do siłowników gładkich i użebrowanych oraz do siłowników z rowkami montażowym typu „jaskółczy ogon". Czujnik tego rodzaju zilustrowano na rysunku 32.

Wybrane parametry czujnika magnetycznego zbliżeniowego MZT6 i RZT6 przedstawiono w tabeli 10.

Tabela 10. Wybrane parametry czujnika magnetycznego MZT6 i RZT6 do siłowników pneumatycznych firmy Sick

Zasilanie	10 – 30 (V)DC
Stopień ochrony	IP 68
Temperatura otoczenia	-25(°C) - +75(°C)
Pobór prądu	≤ 10(mA)

Rysunek 32. Czujniki magnetyczne MZT6 i RZT6 do siłowników pneumatycznych firmy Sick

Źródło: Sick, 2013

3.1.4. Czujniki ultradźwiękowe

Czujniki ultradźwiękowe zbliżeniowe są stosowane do wykrywania obiektów, detekcji poziomów cieczy przeźroczystych i nieprzeźroczystych przede wszystkim w środowiskach, gdzie ze względu na znaczne zabrudzenie nie jest możliwe zastosowanie czujników optycznych. Zasada działania tych czujników opiera się na pomiarze czasu upływającego między wysłanym sygnałem ultradźwiękowym a odebranym echem odbitym od przeszkody. Czujnik tego typu zilustrowano na rysunku 33.

Podstawowe parametry czujnika magnetycznego zbliżeniowego UM 30 300 przedstawiono w tabeli 11.

Tabela 11. Wybrane parametry czujnika ultradźwiękowego zbliżeniowego UM30300 firmy Simex

Zasilanie	12 - 30 (V)DC
Pobór prądu	60(mA)
Temperatura pracy	-20(°C) ÷ +70(°C)
Stopień ochrony	IP 65

Rysunek 33. Czujnik ultradźwiękowy zbliżeniowy UM 30 300 firmy Simex

Źródło: Simex, 2013

3.1.5. Czujniki kąta

Czujnik kąta stosowany jest w układach automatyki przemysłowej, w rolnictwie lub leśnictwie, w układach kontroli położenia maszyn specjalistycznych oraz w innych dziedzinach, gdzie niezbędna jest znajomość kąta nachylenia lub konieczne pozycjonowanie do zerowego przechyłu. Czujnik tego typu zilustrowano na rysunku 34.

Główne parametry czujnika kąta SCK-11 zamieszczono w tabeli 12.

Tabela 12. Wybrane parametry czujnika kąta SCK-11 firmy Simex

Zasilanie	10 – 36(V)DC
Pobór prądu	10(mA) / 24(V)DC
Temperatura pracy	-30(°C) ÷ 60(°C)
Stopień ochrony	IP 67

Rysunek 34. Czujnik kąta SCK-11 firmy Simex

Źródło: Simex, 2013

3.1.6. Czujniki obrotowo-impulsowe

Wśród czujników obrotowo-impulsowych wyróżnić można czujniki: absolutne i inkrementalne.

Absolutne przetworniki obrotowo-impulsowe, tzw. kodowe, są specjalistycznymi urządzeniami, których zasada działania polega na podaniu pozycji położenia kątowego za pomocą kodu odczytywanego z tarczy kodowej. Informacja o położeniu zostaje podana po włączeniu zasilania i jest kontrolowana przez cały czas działania przetwornika. Czujniki obrotowo-impulsowe zilustrowano na rysunkach 35 i 36.

Wybrane parametry czujnika obrotowo-impulsowego EAM58 przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 13. Wybrane parametry czujnika obrotowo-impulsowego wieloobrotowego EAM58 firmy Eltra

Zasilanie	5 (V)DC / 8 – 28 (V)DC
Pobór prądu	200(mA)
Temperatura pracy	0(°C) ÷ 600(°C)
Stopień ochrony	IP 54 standard , IP 66 (opcja)

Rysunek 35. Czujnik obrotowo-impulsowy wieloobrotowy EAM58 firmy Eltra

Źródło: As-sensor, 2013

Na rysunku 36 przedstawiono przykład czujnika obrotowo-impulsowego absolutnego jednoobrotowego EA40 firmy Eltra.

Podstawowe parametry czujnika obrotowo-impulsowego EA40 przedstawiono w tabeli 14.

Tabela 14. Wybrane parametry czujnika obrotowo-impulsowego absolutnego jednoobrotowego EA40 firmy Eltra

Zasilanie	5 (V)DC / 8 – 28 (V)DC
Pobór prądu	150(mA)
Temperatura pracy	0(°C) ÷ 600(°C)
Stopień ochrony	IP 54 standard , IP 66 (opcja)

Rysunek 36. Czujnik obrotowo-impulsowy absolutny jednoobrotowy EA40 firmy Eltra

Źródło: As-sensor, 2013

Przetworniki obrotowo-impulsowe inkrementalne (przyrostowe) są to urządzenia, które wytwarzają określoną ilość impulsów na jeden obrót. Dwa ciągi impulsów przesuniętych w fazie pozwalają określić kierunek ruchu. Mogą służyć do określania przemieszczeń kątowych, prędkości obrotowej, przemieszczenia liniowego, do pomiaru kąta kluczowych elementów mechanizmów maszyn, robotów, komparatorów oraz w celu ustanowienia połączenia informacyjnego ze sterownikiem, licznikiem lub urządzeniem odczytowym. Czujnik tego typu przedstawiono na rysunku 37.

Wybrane parametry czujnika obrotowo-impulsowego z otworem KEF36 przedstawiono w tabeli 15.

Tabela 15. Wybrane parametry czujnika obrotowo--impulsowego inkrementalnego KEF36 firmy Eltra

Zasilanie	5 (V)DC ± 5(%)
Pobór prądu	150(mA)
Temperatura pracy	-100(°C) ÷ 850(°C)
Stopień ochrony	IP 40

Rysunek 37. Czujnik obrotowo--impulsowey inkrementalny KEF36 firmy Eltra

Źródło: As-sensor, 2013

Na rysunku 38 przedstawiono czujnik obrotowo-impulsowy inkrementalny EL30 firmy Eltra.

Główne parametry czujnika obrotowo-impulsowego EL30 zilustrowano w tabeli 16.

Tabela 16. Wybrane parametry czujnika obrotowo--impulsowego inkrementalnego z ośką EL30 firmy Eltra

Zasilanie	5(V) DC / 8 ÷ 28(V) DC
Pobór prądu	max. 100(mA)
Temperatura pracy	0(°C) ÷ 600(°C)
Stopień ochrony	IP 54 standard

Rysunek 38. Czujnik obrotowo--impulsowy inkrementalny EL30 firmy Eltra

Źródło: As-sensor, 2013

3.1.7. Czujniki optyczne

Czujniki optyczne są elementami automatyki, których zasada działania polega na wysłaniu wiązki promieni świetlnych przez nadajnik i odebraniu jej przez odbiornik. Czujniki optyczne reagują na obiekty znajdujące się na drodze przebiegu wiązki światła. W większości czujniki te wykorzystują modulowane światło z zakresu bliskiej podczerwieni. Charakteryzują się odpornością na zakłócenia i możliwością pracy w warunkach zanieczyszczenia powietrza. Można wyróżnić następujące rodzaje czujników optycznych:
- odbiciowe;
- refleksyjne;
- typu bramka/kurtyna świetlna.

Czujniki optyczne znajdują zastosowanie przy:
- kontroli położenia ruchomych części maszyn;
- identyfikacji obiektów znajdujących się w zasięgu ich działania (np. przesuwające się taśmy transportowe);
- określeniu poziomu cieczy i materiałów sypkich.

Charakterystyczne parametry czujników optycznych to:
- strefa;
- zasięg działania;
- histereza;
- współczynniki korekcyjne;
- temperatura pracy;
- wibracje;
- zasilanie.

Czujniki optyczne odbiciowe wykorzystują światło widzialne i niewidzialne (najczęściej podczerwień, ale też i ultrafiolet) zwykłe oraz laserowe. W starszych konstrukcjach wykorzystywano żarowe lub wyładowcze źródła światła, obecnie wykorzystuje się półprzewodnikowe. Czujniki te posiadają nadajnik i odbiornik we wspólnej obudowie. Obiekt obserwowany (np. płytka znormalizowana o 90% odbiciu) przerywa strumień światła odbitego i wywołuje zmianę sygnału wyjściowego. Przy powierzchniach lustrzanych zaleca się, aby światło odbite przed wejściem do układu odbiornika przechodziło przez filtr polaryzacyjny. Pozwala to uniknąć ewentualnych zakłóceń pochodzących od innych sygnałów. Sposób wycelowania na badany obiekt jest w dużej mierze nieistotny. Czujnik odbiciowy zilustrowano na rysunku 39.

Podstawowe parametry czujnika odbiciowego E3S-RS30D4-30 przedstawiono w tabeli 17.

Na rysunku 40 przedstawiono czujnik optyczny odbiciowy zbliżeniowy S20-2-C-P firmy Datasensor.

Główne parametry czujnika optycznego odbiciowego zbliżeniowego S20-2-C-P zamieszczono w tabeli 18.

Tabela 17. Wybrane parametry czujnika odbiciowego E3S-RS30D4-30 firmy Omron

Zasilanie	12 ÷ 24(V) DC ± 10(%)
Pobór prądu	25(mA)
Temperatura pracy	-25(°C) ÷ 55(°C)
Stopień ochrony	IP 67

Rysunek 39. Czujnik odbiciowy E3S-RS30D4-30 firmy Omron

Źródło: Omron, 2013

Tabela 18. Wybrane parametry czujnika optycznego odbiciowego zbliżeniowego S20-2-C-P firmy Datasensor

Typ zasilania	(V)DC
Pobór prądu (max.)	50(mA)
Częstotliwość przełączania (max.)	500(Hz)
Stopień ochrony	IP 66

Rysunek 40. Czujnik optyczny odbiciowy zbliżeniowy S20-2-C-P firmy Datasensor

Źródło: Datasensor, 2013

Kolejny rodzaj czujników optycznych to czujniki optyczne refleksyjne. Wymagają one montażu reflektora umieszczonego na osi wiązki optycznej, emitowanej przez czujnik. Wykrywają obiekty pojawiające się między czujnikiem a lustrem. Zaletą tych czujników

jest duży zasięg (do 12 m) oraz brak wrażliwości na kolor obiektu. Są niezawodne przy wykrywaniu detali ze szkła i materiałów transparentnych. Przykładowy czujnik tego rodzaju zilustrowano na rysunku 41.

Wybrane parametry czujnika optycznego refleksyjnego 18-29 firmy Simex przedstawiono w tabeli 19.

Tabela 19. Wybrane parametry czujnika optyczny refleksyjny 1829 firmy Simex

Zasilanie	12 ÷ 24(V) AC
Częstotliwość przełączania	10(Hz)
Tolerancja	± 10(%)
Stopień ochrony	IP 67

Rysunek 41. Czujnik optyczny refleksyjny 1829 firmy Simex

Źródło: Simex, 2013

Na rysunku 42 przedstawiono czujnik refleksyjny S40-PR-5-A03-NH firmy Datasensor.

Główne parametry czujnika refleksyjnego S40-PR-5-A03-NH firmy Datasensor przedstawiono w tabeli 20.

Tabela 20. Wybrane parametry czujnika refleksyjnego S40-PR-5-A03-NH firmy Datasensor

Zasilanie	10 ÷ 30(V) DC
Częstotliwość przełączania	1000(Hz)
Zasięg pracy	0,1 – 3,5 (m)
Stopień ochrony	IP 67

Rysunek 42. Czujnik refleksyjny S40-PR-5-A03-NH firmy Datasensor

Źródło: Datasensor, 2013

Kolejny typ czujników optycznych to czujniki optyczne koloru. Służą one do bezdotykowej detekcji nieprzezroczystych obiektów na podstawie ich koloru. Nadajniki emitują impulsy światła w trzech podstawowych kolorach: czerwonym, zielonym i niebieskim, które odbijane są przez obiekt. Odbite światło odebrane przez odbiornik jest wzmacniane, zamieniane na sygnały cyfrowe i przetwarzane w mikroprocesorze. Na rysunku 43 zilustrowano czujnik optyczny koloru WLCS-TCL-255 firmy Eltrotec.

Wybrane parametry czujnika optycznego koloru WLCS-TCL-255 firmy Eltrotec przedstawiono w tabeli 21.

Tabela 21. Wybrane parametry czujnika optycznego koloru WLCS-TCL-255 firmy Eltrotec

Zasilanie	10 ÷ 30(V) DC
Częstotliwość przełączania	1500(Hz)
Poziom tolerancji	Wybierany w 10 krokach
Stopień ochrony	IP 67

Rysunek 43. Czujnik optyczny koloru firmy Eltrotec

Źródło: Eltrotec, 2013

Na rysunku 44 przedstawiono inny przykład czujnika koloru – S65-PA-5-V09-PPP firmy Datasensor.

Podstawowe parametry czujnika koloru S65-PA-5-V09-PPP firmy Datasensor przedstawiono w tabeli 22.

Tabela 22. Wybrane parametry czujnika koloru S65-PA-5-V09-PPP firmy Datasensor

Typ zasilania	(V) DC
Pobór prądu (max.)	60(mA) przy 24(V)
Częstotliwość przełączania (max.)	1500(Hz)
Stopień ochrony	IP 67

Rysunek 44. Czujnik koloru S65-PA-5-V09-PPP firmy Datasensor

Źródło: Datasensor, 2013

Czujniki optyczne typu bariera składają się z dwóch niezależnie zasilanych elementów: nadajnika i odbiornika. Usytuowane są wzdłuż jednej osi wyznaczonej przez wiązkę nadajnika. Czujniki wykrywają obiekty pojawiające się między nadajnikiem a odbiornikiem. Posiadają one najdłuższe strefy działania w porównaniu z czujnikami odbiciowymi i refleksyjnymi (do 50m). Czujnik optyczny typu bariera przedstawiono na rysunku 45.

Wybrane parametry czujnika optycznego typu bariera S30-1-F50T-1 firmy Datasensor przedstawiono w tabeli 23.

Tabela 23. Wybrane parametry czujnika optycznego typu bariera S30-1-F50T-1 firmy Datasensor

Typ zasilania	(V) AC/DC
Pobór prądu (max.)	60(mA)
Częstotliwość przełączania (max.)	10(Hz)
Stopień ochrony	IP 67

Rysunek 45. Czujnik optyczny typu bariera S30-1-F50T-1 firmy Datasensor

Źródło: Datasensor, 2013

Czujniki optyczne szczelinowe zapewniają wykrywanie obiektów metodą nadajnik – odbiornik. Stosuje się je do detekcji znaków na taśmie i przerwania taśmy. Widełkowy kształt eliminuje potrzebę ustawiania osi optycznych. Czujniki wykorzystywane są w procesach charakteryzujących się dużą prędkością. Przykładowy czujnik szczelinowy przedstawiono na rysunku 46.

Podstawowe parametry czujnika optycznego szczelinowego SR22-5-IR-OD firmy Datasensor przedstawiono w tabeli 24.

Tabela 24. Wybrane parametry czujnika optycznego szczelinowego SR22-5-IR-OD firmy Datasensor

Typ zasilania	(V) DC
Pobór prądu (max.)	55(mA)
Częstotliwość przełączania (max.)	10000(Hz)
Stopień ochrony	IP 60

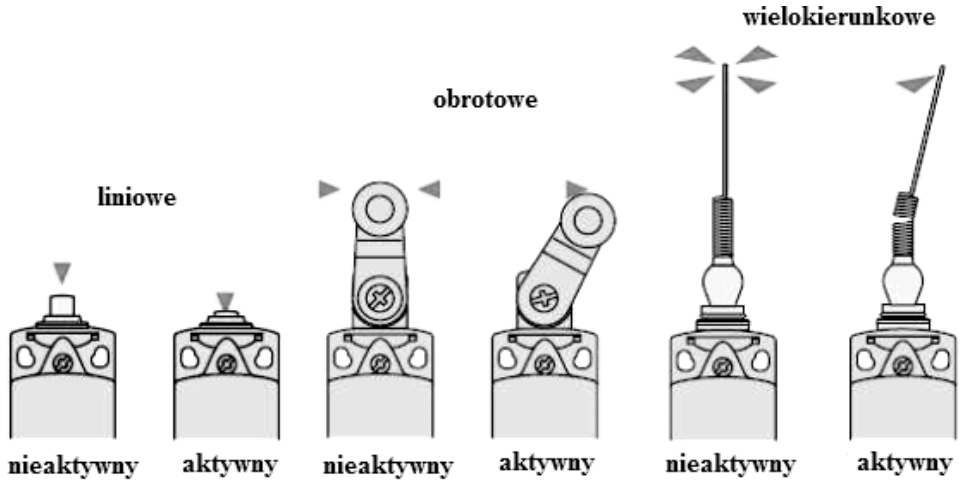
Rysunek 46. Czujnik optyczny szczelinowy SR22-5-IR-OD firmy Datasensor

Źródło: Datasensor, 2013

3.1.8. Wyłączniki krańcowe

Do czujników stosowanych w robotyzacji procesów technologicznych należą także wyłączniki krańcowe, nazywane również czujnikami krańcowymi (microswitch). Wyłącznik krańcowy informuje o obecności elementu na zasadzie złączenia bądź rozłączenia styków. Przy czym oprócz wyłączników krańcowych (mechanicznych) występują również czujniki optyczne. Obie wersje znajdują zastosowanie zarówno w systemie pozycjonowania ramienia robota, jak również na liniach transportowych, dostarczających przedmioty podlegające składowaniu. Wyłączniki krańcowe stosowane są także w systemie bezpieczeństwa robota: na osiach robota, które nie posiadają pełnego obrotu, oraz w zabezpieczeniu chwytaka przed uderzeniem o przedmiot.

W systemach transportowych na zrobotyzowanych liniach pakujących wyłączniki krańcowe stosowane są jako elementy kontrolujące opuszczenie miejsca pakowania, a zarazem zliczające produkty. Wyłącznik krańcowy jest elementem typu łącznik, którego napęd w położeniu spoczynku posiada stan zwarty styku, a w położeniu krańcowym stan rozwarty styku lub odwrotnie – w zależności od konfiguracji połączeń. Istota jego działania polega na tym, iż przedmiot podlegający składowaniu dotyka dźwignię i włącza lub wyłącza zestyk. W teoretycznym rozważaniu ich kinematyki działania wyróżnia się trzy rodzaje wykrywanych ruchów: liniowy, obrotowy, wielokierunkowy (rys. 47).



Rysunek 47. Rodzaje wykrywanych ruchów przez wyłączniki krańcowe

Typowy wyłącznik krańcowy kompaktowy składa się podstawowych elementów, takich jak:

– trzon wyłącznika (korpus), w którym wbudowane są styki i do którego przyłącza się przewody lub wtyk wyprowadzenia na elementy wykonawcze w układzie sterowania robota. Zestyki, które mogą być w różnej konfiguracji NO i NC w zależności od potrzeb, podają sygnał logiczny zwarcia lub rozwarcia;

– głowica, jest elementem mechanicznie związanym z elementami wykrywanymi. Głowice występują w różnych konfiguracjach i wykorzystuje się je do różnych zastosowań. Istnieje wiele ich typów, które stosowane są w zależności od warunków pracy i zabudowy. Na rysunku 48 przedstawiono przykłady wyłączników krańcowych z różnymi głowicami.

Rysunek 48. Wyłączniki krańcowe standardu XCKN wyposażone w głowice

Źródło: Schneider, 2010

Do zalet mechanicznych wyłączników krańcowych można zaliczyć: prostotą konstrukcję, łatwość podłączenia i szeroki wachlarz proponowanych przez producentów typów. Wśród wad należy wymienić: niską częstotliwość przełączania, ryzyko zablokowania materiałami obcymi i znaczne tempo zużycia mechanicznego.

W miejsce wyłączników krańcowych mechanicznych mogą być stosowane czujniki optyczne. Do czujników tego typu zaliczyć można m.in. uniwersalny czujnik fotoelektryczny z serii OsiSense XU (rys. 49). Jego konstrukcja ma kształt nagwintowanego cylindra o rozmiarze M18. Zakres działania czujnika w zależności od użytych akcesoriów waha się w granicach 0 – 20 m. Napięcie pracy to 12 – 24 VDC, prąd – 35 mA przy braku obciążenia. Czujnik wykonany jest w technologii trójprzewodowej z polaryzacją PNP i funkcją wyjścia dyskretnego 1NO i programowalnego 1NC. Możliwa jest emisja sygnałów: podczerwonego rozproszonego, podczerwonego rozproszonego z tłumieniem w tle, podczerwonego z wiązką przechodzącą oraz RED odbicie spolaryzowane. Czujnik posiada funkcję samouczenia, która pozwala zainstalować go w dowolnej aplikacji. Spełnia on wymagania stopnia ochrony IP65 i pracuje w temperaturach - 25 – +55°C (XUB0APSNM12-Karta produktu).

Rysunek 49. Czujnik fotoelektryczny XUB0APSNM12

Źródło: XUB0APSNM12

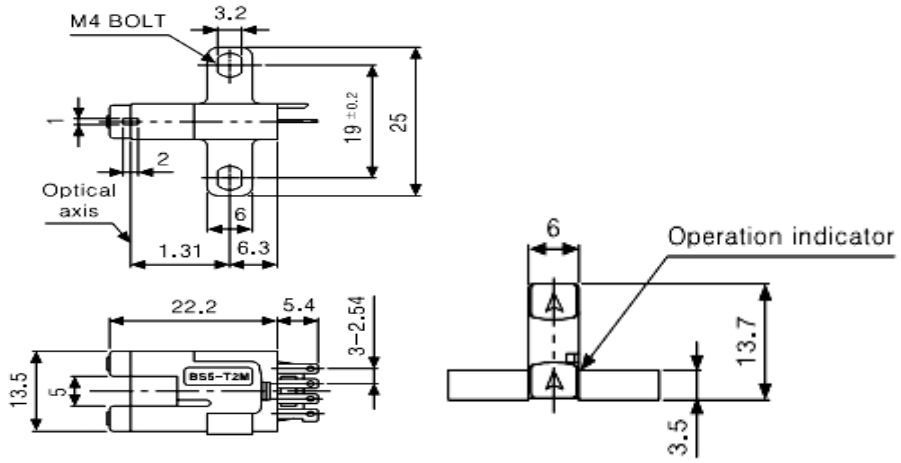
Innym przykładem czujnika fotooptycznego, który może pełnić funkcję wyłącznika krańcowego, jest czujnik firmy Automics (rys. 50). Jego zasada działania opiera się na wykorzystaniu faktu przerwania strumienia światła między nadajnikiem a odbiornikiem. Ten typ czujnika omówiono na przykładzie modelu BS5-T2M. W jego przypadku sygnał wyjściowy dostępny jest w standardzie – otwarty kolektor z tranzystorem NPN o maksymalnym prądzie 100mA. Dodatkowe wejście kontrolne

pozwala na przełączanie trybu pracy czujnika (załączanie przy oświetleniu lub załączanie przy zasłonięciu).

Podstawowe dane czujnika to:

- odległość detekcji 5 mm;
- kontrolka LED informująca o zadziałaniu;
- zasilanie napięciem stałym 5-24V;
- częstotliwość odpowiedzi do 2kHz;
- pobór prądu < 30mA;
- możliwość pracy przy świetle zewnętrznym max. 1000 lux (BS5-T2M 2009).

Na rysunku 50 przedstawiono podstawowe informacje dotyczące wymiarów czujnika.



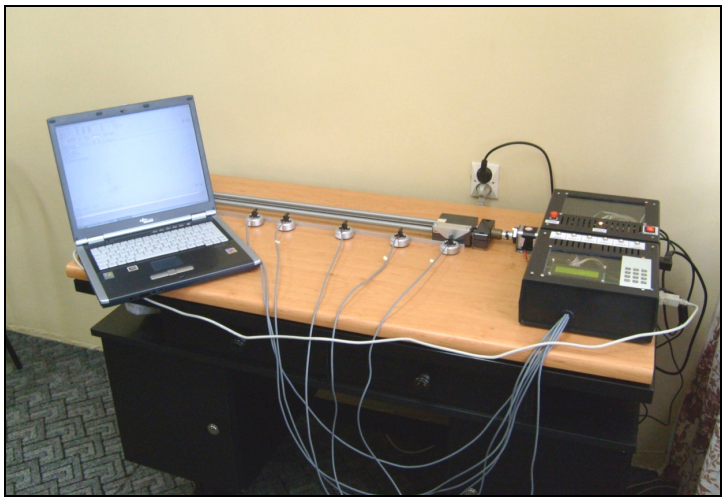
Rysunek 50. Wymiary czujnika BS5-T2M

Źródło: Automics, 2009

3.1.8.1. Przykład zastosowania wyłączników krańcowych

W Katedrze Energetyki i Automatyzacji Procesów Rolniczych na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki UR w Krakowie zbudowano stanowisko doświadczalne, ilustrujące działanie wyłączników krańcowych. Pozwala ono na sterowanie silnikiem krokowym przy użyciu mikrokontrolera współpracującego z systemem optycznych wyłączników krańcowych (rys. 51). Takie rozwiązanie techniczne może znaleźć zastosowanie w procesach rolno-spożywczych, związanych z precyzyjnym pozycjonowaniem narzędzi, chwytaka robota, części roboczych maszyn, elementów podlegających obróbce i in..

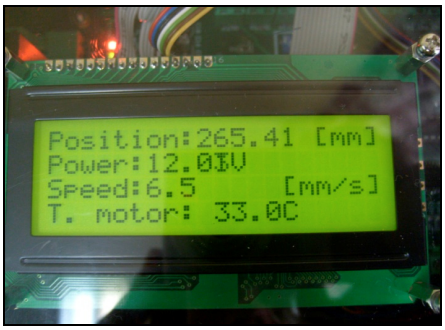
Najważniejszymi elementami stanowiska są: układ sterujący, układ komunikacji z użytkownikiem (komputer – programator), czujniki położenia wózka, czujnik obrotowo-impulsowy inkrementalny.



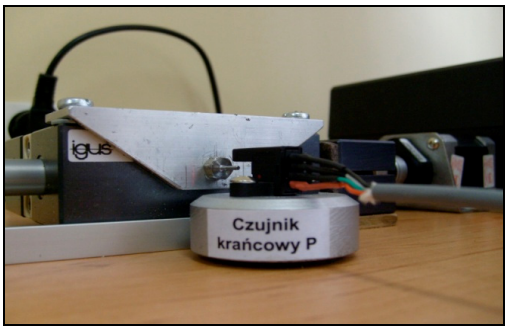
Rysunek 51. Stanowisko sterowania silnikiem krokowym z wyłącznikami krańcowymi

Do komunikacji z mikrokontrolerem służy wyświetlacz alfanumeryczny. Odpowiedzialny jest on za podawanie informacji o aktualnych parametrach pracy sterownika (rys. 52). Pierwsza linia informuje o aktualnej pozycji wózka, w drugiej linii podawane jest napięcie zasilające sterownik, w trzeciej linii podawana jest prędkość, z jaką porusza się wózek.

Wzdłuż stanowiska, liniowo mogą być rozmieszczane czujniki fotooptyczne, pełniące rolę wyłączników krańcowych. W tym celu wykorzystano czujniki firmy Autonics (BS5-T2M). Wyboru tych czujników dokonano ze względu na sposób ich montażu. Dwa z tych czujników przytwierdzono na stałe i są odpowiedzialne za ograniczenie ruchu do pozycji skrajnych (krańcowych). Pozostałe cztery czujniki są przesuwne wzdłuż stanowiska. Na rysunku 53 odzwierciedlono zasadę działania optycznego wyłącznika krańcowego. Metalowy element przecina wiązkę laserową, powodując zadziałanie wyłącznika a w efekcie – wyłączenie silnika napędzającego wózek.

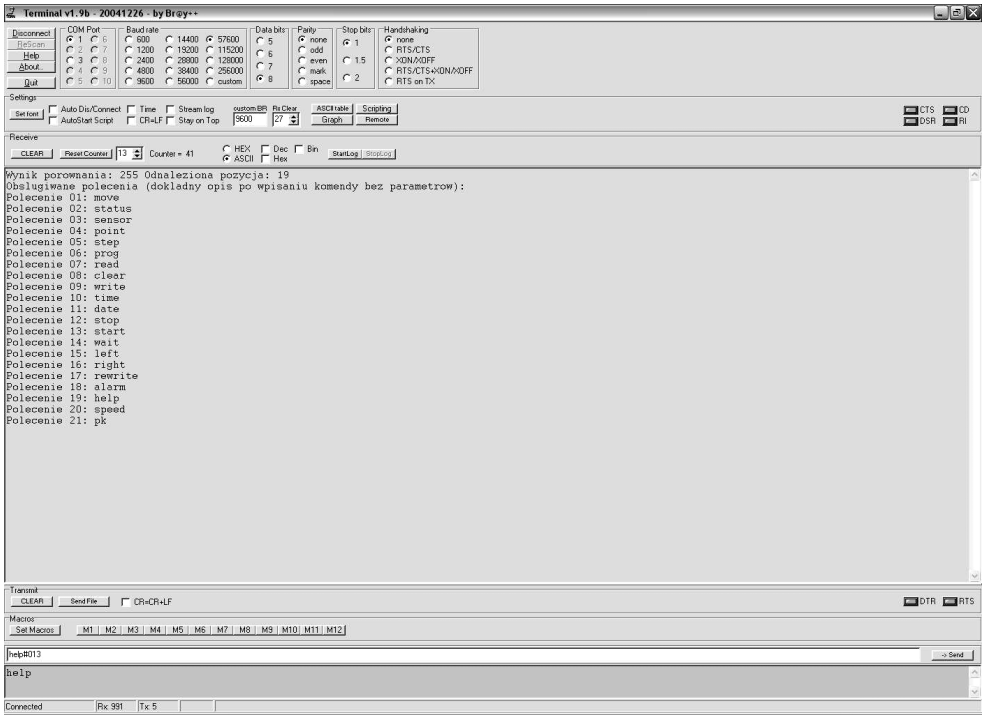


Rysunek 52. Przykładowe dane na wyświetlaczu sterownika



Rysunek 53. Czujnik krańcowy BS5-T2M

Do sterowania i programowania stanowiska doświadczalnego wykorzystano terminal komunikujący się przez port RS232. Przykład wykorzystania terminala przedstawiono na rysunku 54.



Rysunek 54. Okno terminala

Na rysunku 54 widoczna jest lista poleceń obsługiwanych przez sterownik wraz z informacjami w formie tabelarycznej o aktualnych położeniach wszystkich czujników.

4. PROGRAMOWANIE ROBOTÓW

Roboty przemysłowe są maszynami programowalnymi. Fakt ten zapewnia ich dużą elastyczność, rozumianą jako zdolność do szybkiego i łatwego dostosowania do zmieniających się warunków produkcji. Oprócz programowalności na wzrost ich możliwości adaptacyjnych wpływa także potencjał do współpracy ze środkami automatyzacji. Rozwój technologii elektronicznych i informatycznych na przestrzeni lat miał znaczący wpływ na sposoby sterowania robotami. W zależności od złożoności zadań i zastosowań powstały różne metody programowania. Należy podkreślić, iż robot zazwyczaj jest tylko jednym z elementów zautomatyzowanego procesu produkcji, jego programowanie jest więc nierzadko częścią szerokiego zagadnienia dotyczącego programowania zespołu różnych maszyn.

4.1. Metody programowania

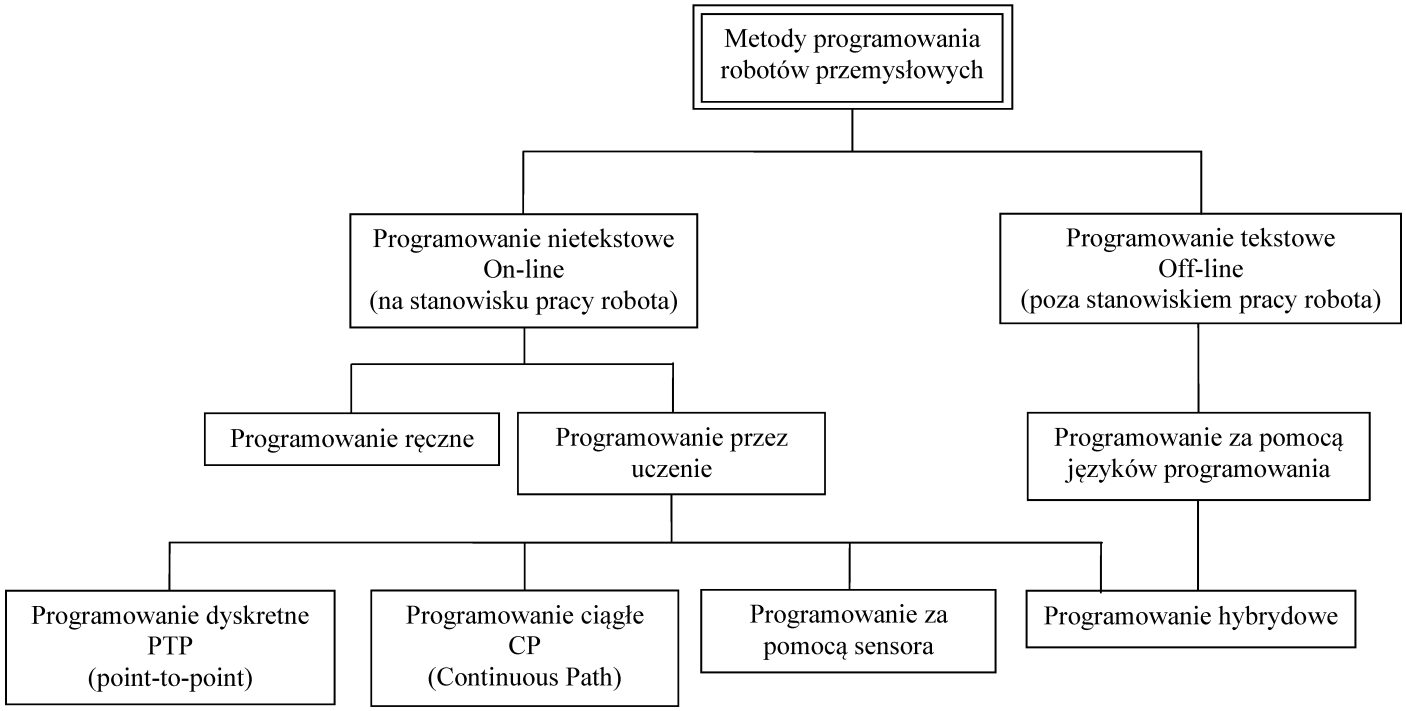
Zagadnienia dotyczące sposobów programowania robotów związane są z taką tematyką, jak: oprogramowanie sterujące, modelowanie oraz symulacja działania robotów.

Ogólnie sposoby programowania można podzielić na (Zieliński, 2013):

- pośrednie, poza stanowiskiem pracy – tekstowe (off-line), w tym graficzne;
- bezpośrednie na stanowisku pracy – nietekstowe (on-line);
- hybrydowe, bazujące na obu wymienionych formach.

Podział metod programowania robotów przemysłowych przedstawiono na rysunku 55.

Forma tekstowa (pośrednia), czyli programowanie *off-line*, polega na zdefiniowaniu zadań robota poprzez napisanie przy wykorzystaniu edytora tekstowego programu źródłowego w środowisku PC z dala od stanowiska pracy (rys. 55). Powstały w ten sposób program po kompilacji w formie kodu pośredniego (niezależnego od robota) przekazywany jest do postprocesora robota, gdzie zostaje przetworzony na postać zależną od rodzaju robota i jego układu sterowania. Obecnie do tworzenia i testowania programów metodą *off-line* najczęściej wykorzystuje się oferowane przez producentów, kompletne, wirtualne środowiska programistyczne, umożliwiające symulowanie na ekranie komputera PC ruchów robota wykonującego program sterujący. Forma tekstowa (pośrednia) programowania ułatwia dokumentowanie programu, wprowadzanie lokalnych zmian do jego treści i korzystanie z informacji pochodzących z czujników, ponadto umożliwia powstanie programów wariantowych. Do wad formy tekstowej programowania należy zaliczyć konieczność przeprowadzenia już na stanowisku pracy żmudnej procedury kalibracji pozycji, które manipulator ma osiągnąć. Dzięki temu, iż program powstaje poza stanowiskiem pracy, bez udziału robota, unika się przestojów na linii produkcyjnej. Teoretycznie istnieje możliwość zaprogramowania robotów dla linii produkcyjnej, która fizycznie jeszcze nie istnieje (Zieliński, 2013).



Rysunek 55. Metody programowania robotów przemysłowych

Forma programowania bezpośredniego, nietekstowa (*on-line*), polega na wytworzeniu programu działania robota w czasie rzeczywistym, podczas fazy uczenia na stanowisku pracy (rys. 55). Przykładem tej metody programowania było stosowane w robotach starszej generacji programowanie ręczne. Rozwiązanie to wymagało fizycznego ustawienia zakresu punktów charakterystycznych trajektorii ruchu, poprzez zamontowanie mechanicznych ograniczników w postaci zderzaków, listew progowych czy szyn krzyżowych, ograniczających ruchy robota. Każda zmiana programu pociągała za sobą konieczność zmiany położenia ograniczników. Z tego powodu czynności manipulacyjne nie mogły być zbyt złożone. Wadą tej metody było wydłużenie czasu postoju robota podczas programowania, wynikające z konieczności zmiany położenia ograniczników (Jardzioch, 2013; Rygadło, 2013; Zieliński, 2013).

Kolejnym przykładem formy nietekstowej jest najbardziej rozpowszechniona metoda programowania – przez uczenie. Programowanie to wymaga przemieszczenia manipulatora w obrębie jego przestrzeni roboczej, wzdłuż zadanego toru ruchu w celu wprowadzenia tego toru do pamięci układu sterowania. Przemieszczenie odbywa się w trybie ręcznym lub mechanicznym (za pomocą panelu sterującego). Wyróżnić można dwa rodzaje programowania przez uczenie: *PTP* (point-to-point) i *CP* (Continuous Path). Pierwszy rodzaj (point-to-point) polega na przemieszczeniu manipulatora wzdłuż toru ruchu i zapisaniu przez operatora w pamięci sterownika tylko niezbędnych do osiągnięcia żądanej pozycji punktów tego toru. Podczas odtwarzania ruch między zapamiętanymi punktami jest interpolowany. Drugi rodzaj programowania (Continuous Path) wymaga przemieszczenia manipulatora wzdłuż toru ruchu, którego kolejne punkty są mierzone wewnętrznymi sensorami osi i zapisywane automatycznie co stały interwał czasu przez układ sterowania. Program może składać się nawet z kilku tysięcy współrzędnych punktów, położonych blisko siebie. Liczbę koniecznych do powstania programu punktów zapisywanych przez układ sterowania można ograniczyć dzięki zastosowaniu nowego sposobu programowania, które należy zaliczyć do form nietekstowych. Jest nim programowanie za pomocą sensora. Polega na zadaniu kierunku ruchu manipulatora prowadzonego przez bezdotykowy sensor. Ruch odbywa się względem obiektu, którego dotyczy zadanie robota. Pozycję manipulatora względem obiektu określa się na podstawie wartości z pomiarów sensorem – pozwalają one na utrzymywanie stałej odległości i orientacji względem zarysu geometrycznego obiektu. Program sterujący powstaje po przetworzeniu wybranych punktów kontrolnych (węzłowych), uzyskanych dzięki redukcji zgromadzonych w pamięci układu sterowania danych opisujących tor ruchu manipulatora. Redukcja danych realizowana jest w ten sposób, że w programie sterującym ujęte zostają tylko te punkty, które dla przyjętych odchyłek w sposób wystarczający wyznaczają tor ruchu. Odcinki toru zawierające szereg nieistotnych punktów zastępuje się odcinkami linii prostych tak, aby nie zostały przekroczone największe odchyłki toru i kątów (Rygadło, 2013; Zdanewicz, 2010).

Podsumowując, wśród zalet programowania bezpośredniego *on-line* należy wymienić jego prostotę i precyzję odtwarzania nauczonych pozycji, wynikającą z dużej powtarzalności robotów przemysłowych. Do jego wad natomiast należy zaliczyć brak dokumentacji programu, trudność we wprowadzaniu lokalnych zmian i w korzystaniu z informacji pochodzących z czujników (metody *PTP* i *CP*), ponadto brak możliwości powstania programów wariantowych.

Należy wspomnieć, iż obecnie spotyka się rozwiązania polegające na wykorzystywaniu przez sterowniki robotów przemysłowych hybrydowych metod programowania, stanowiących połączenie form tekstowych z nietekstowymi (rys. 55). Program wówczas powstaje w taki sposób, iż nieliczne współrzędne, kluczowe dla jego wykonania, są uczone, a pozostałe określane są numerycznie względem tych nauczonych.

4.2. Języki programowania

Programowanie robota polega na utworzeniu, przy wykorzystaniu instrukcji specjalnego języka programowania wysokiego poziomu, symbolicznego opisu czynności manipulacyjnych, składających się na operacje, jakie ma wykonać robot. Ciąg instrukcji tworzących program opisuje w sposób symboliczny: czynności manipulacyjne, działanie chwytaka oraz obsługę wejść/wyjść robota. Program zawiera także zmienne nazwowe, reprezentujące poszczególne pozycje manipulatora, i specjalną grupę instrukcji przyporządkowujących zmiennym rzeczywiste wartości określające położenie manipulatora. Istnieje wiele języków programowania robotów. W zależności od sposobu opisu operacji wykonywanych przez robot, języki wysokiego poziomu można podzielić na:

– bezpośredniego programowania;
– obiektowo zorientowane, wykorzystujące model otoczenia robota.

Należące do pierwszego z wymienionych rodzajów języki bezpośredniego programowania robota charakteryzują się opisem operacji poprzez zdefiniowanie przemieszczenia poszczególnych fragmentów łańcucha kinematycznego (języki proste) lub przemieszczenia końcówki manipulatora w przestrzeni kartezjańskiej (języki wyższe). Języki bezpośredniego programowania można podzielić na następujące kategorie (Rygadło, 2013; Zdanewicz, 2010): wyspecjalizowane języki manipulacyjne, języki programowania komputerowego uzupełnione bibliotekami podprogramów robota, nowe języki ogólnego przeznaczenia z biblioteką podprogramów robota.

Wyspecjalizowane języki manipulacyjne to języki, które zostały opracowane z przeznaczeniem do wykorzystania w specyficznych dla robotów zastosowaniach. Z kolei języki programowania robotów rozwinięte na bazie uniwersalnego języka komputerowego przez dołączenie biblioteki specyficznych podprogramów dla robotów można zaliczyć do kategorii – języków programowania komputerowego uzupełnionych bibliotekami podprogramów dla robotów. Te języki programowania robotów, które zostały opracowane dzięki utworzeniu nowego języka ogólnego przeznaczenia jako bazy programowej, a następnie dołączeniu biblioteki wstępnie określonych specyficznych podprogramów dla robotów, przyporządkowane zostały do kategorii – nowych języków ogólnego przeznaczenia z biblioteką podprogramów robota.

Zaliczone do drugiego rodzaju języków wysokiego poziomu programowania robotów, języki obiektowo zorientowane, wykorzystujące model otoczenia robota, są językami wpisującymi się w tendencję rozwojową, polegającą na dążeniu do wyeliminowania z algorytmu programowania opisu czynności manipulacyjnych na rzecz opisu jedynie zadań, jakie robot ma wykonać. Przez zadanie rozumie się opis przemieszczenia obiektów w otoczeniu robota, taki jak np. „ułożyć obiekty", „spaletyzować obiekty". Używany do programowania system powinien w sposób automatyczny utworzyć odpowiedni harmonogram

realizacji zadania i zaplanować umożliwiające jego realizację czynności manipulacyjne (Rygadło, 2013; Zdanewicz, 2010).

Stosując jako kryterium podziału producenta robotów, można wyróżnić następujące wybrane języki programowania robotów wysokiego poziomu:
- ABB – RAPID;
- KUKA – KRL;
- Comau – PDL2;
- Mitsubishi – MELFA-BASIC;
- Kawasaki – AS;
- Fanuc – Karel;
- Stäubli – VAL3;
- Universal Robots – URScript;
- Toshiba – SCOL;
- Festo – FTL.

Ze względu na fakt, iż niniejsze opracowanie dotyczy robota FANUC S420i F, w rozdziale szczegółowo omówiony zostanie język programowania robotów KAREL, używany m.in. w kontrolerze R-J2 sterującym wymienionym robotem. Język został opracowany przez firmę FANUC. Jest przykładem języka programowania robotów ogólnego przeznaczenia z biblioteką podprogramów robota, wzorowanego na języku Pascal, z którym łączy go podobieństwo strukturalnych typów danych, pętli i instrukcji warunkowych. Język KAREL pozwala na programowanie współbieżne; realizację operacji wejścia/wyjścia analogowego i cyfrowego oraz instrukcji ruchu robota. Język składa się z sekcji: z deklaracjami i z kodem programu. Umożliwia korzystanie ze zmiennych typu prostego lub złożonego (Zdanewicz, 2010; Zieliński, 2013). Zawiera bogaty zestaw instrukcji ruchu, realizowanego przez manipulator w trzech układach odniesienia:
- świata – globalny układ odniesienia;
- narzędzia – zdefiniowany względem nadgarstka;
- użytkownika – zdefiniowany względem układu świata.

4.3. Programowanie na stanowisku pracy

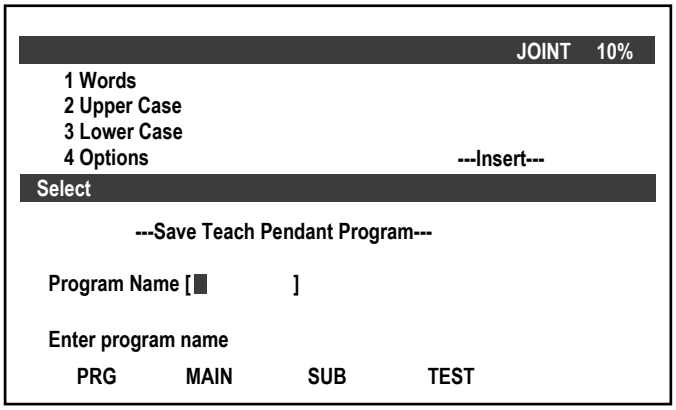
Tok postępowania podczas programowania robota przemysłowego zostanie przedstawiony na przykładzie robota FANUC S420i F. Jak wspomniano, kontroler tego robota używa języka programowania KAREL. Programowanie na stanowisku pracy odbywa się przy wykorzystaniu ręcznego programatora (rys. 17). W trakcie tego procesu należy zwrócić szczególną uwagę na bezpieczeństwo pracy i obsługi robota. Aby rozpocząć pracę z robotem, konieczne jest włączenie zasilania – obrotowy wyłącznik główny kontrolera ustawiony w pozycji ON (rys. 16) oraz wciśnięty włącznik zasilania na pulpicie sterowniczym (rys. 14). W dalszej kolejności powinien zostać włączony testowy tryb pracy T1 poprzez odpowiednie ustawienie kluczyka w stacyjce wyboru trybu pracy na pulpicie sterowniczym kontrolera (rys. 14, 15). Następnie trzymając ręczny programator w dłoni i jednocześnie przytrzymując (którąkolwiek z dłoni) przycisk DEADMAN SWITCH, należy włączyć zasilanie ręcznego programatora (przekręcając włącznik obrotowy) (rys. 23). Wówczas po kilku sekundach na jego ekranie zostaną wyświetlone informacje o gotowości robota do pracy (rys. 17). Przycisk DEADMAN SWITCH musi być w pozycji wciśniętej

przez cały czas pracy z robotem. Przed przystąpieniem do pracy konieczne jest także sprawdzenie, czy przyciski EMERGENCY STOP BUTON na pulpicie sterowniczym i ręcznym programatorze nie są wciśnięte. Wybrane elementy procedury tworzenia programu w języku KAREL omówiono poniżej (Fanuc Ltd., 1996).

4.3.1. Tworzenie programu

W celu utworzenia programu należy wykonać następujące czynności:
- wybrać na klawiaturze ręcznego programatora przycisk SELECT;
- wybrać F2 [CREATE];
- użyć przycisków ↑ i ↓, aby wybrać małe lub duże litery w nazwie programu;
- wpisać nazwę programu używając odpowiednich przycisków funkcyjnych i strzałek;
- wybrać ENTER, aby rozpocząć edycję programu;
- aby edytować zarejestrowany program, nacisnąć klawisz F3 (EDIT) lub ENTER, pojawi się wówczas ekran edycji zarejestrowanego programu;
- w celu wprowadzenia informacji o programie wybrać klawisz F2 [DETAIL].

Na rysunku 56 zilustrowano ekran ręcznego programatora podczas nadawania nazwy programu.

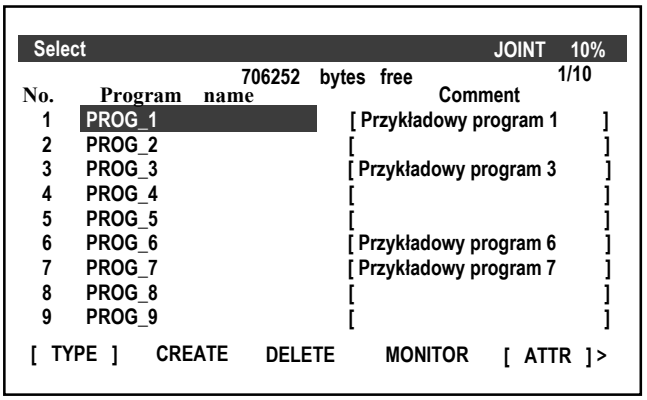


Rysunek 56. Ekran ręcznego programatora podczas nadawania nazwy programu

4.3.2. Wybór programu

Aby wybrać program z listy, należy wykonać następujące czynności:
- wybrać SELECT;
- użyć przycisków ↑ i ↓, aby wskazać program;
- wybrać ENTER.

Ekran ręcznego programatora podczas wyboru programu zilustrowano na rysunku 57.



Rysunek 57. Ekran ręcznego programatora podczas wyboru programu

4.3.3. Programowanie standardowych instrukcji ruchu

Na programowanie standardowych instrukcji ruchu będą składać się m.in. takie działania, jak zapisanie instrukcji ruchu oraz dodanie lub usunięcie linii programu.

Zapisanie instrukcji ruchu

Aby zapisać instrukcję ruchu robota poprzez ustawienie go w pożądanej lokalizacji, konieczne jest wykonanie następujących czynności. Należy ustawić robota w pożądanej pozycji, a następnie wykonać kroki:

– wybrać F1 [POINT];
– użyć przycisków ↑ i ↓, aby wybrać typ ruchu, którym robot ma osiągnąć pożądaną pozycję;
– wybrać ENTER, co spowoduje zapisanie pozycji w aktywnej linii.

Dodanie linii programu

W celu wprowadzenia nowej instrukcji pomiędzy już istniejące, należy wcześniej dodać nową linię programu. Linia ta może zostać dodana nad zaznaczoną linią („current line") po wykonaniu następujących czynności:

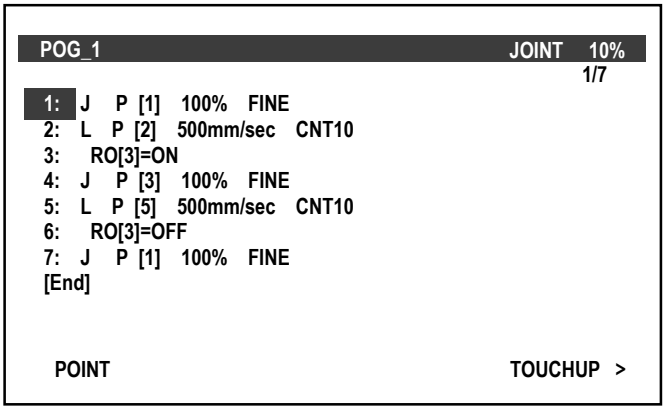
– wyboru F5 [EDCMD];
– zaznaczenia 1 Insert;
– podaniu liczby pustych linii, które mają zostać dodane;
– zatwierdzeniu klawiszem ENTER;
– użyciu przycisków ↑ i ↓, aby zaznaczyć nową, pustą linię programu jako aktywną („current line").

Usunięcie linii programu

Aby usunąć linię programu, należy:

– zaznaczyć, używając przycisków ↑ i ↓, linię programu, która ma zostać usunięta;
– wybrać F5 [EDCMD];
– wybrać 2 DELETE;
– użyć przycisków ↑ i ↓, aby przesunąć kursor, jeżeli skasowanych ma zostać więcej niż jedna linia programu;
– wybrać F4 [YES], aby skasować linię, lub F5 [NO], aby anulować usuwanie linii programu.

Na rysunku 58 zilustrowano ekran ręcznego programatora z przykładowym kodem programu.

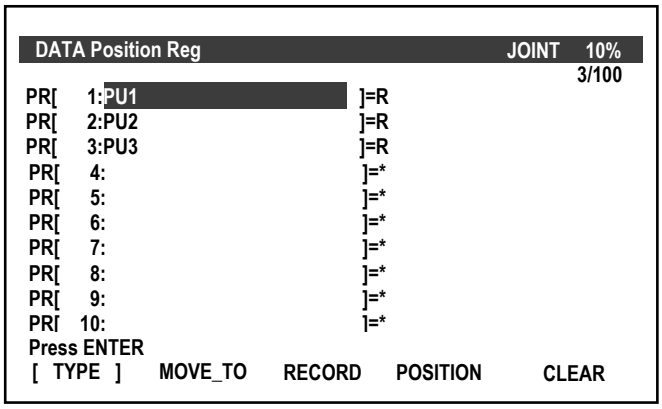


Rysunek 58. Ekran ręcznego programatora podczas edycji programu

4.3.4. Programowanie instrukcji ruchu wartościami rejestru pozycji PR

W celu zdefiniowania współrzędnych jako wartości rejestru pozycji PR[#], należy wykonać następujące czynności:
– wybrać MENU;
– użyć 0 NEXT;
– wybrać 3 DATA;
– użyć F1 [TYPE];
– wybrać 2 POSITION REGISTER;
– użyć przycisków ↑ i ↓, aby zaznaczyć wybraną pozycję rejestru.
– ustawić manipulator w wybranej pozycji;
– wybrać F3 [RECORD].

Ekran ręcznego programatora podczas definiowania współrzędnych jako wartości rejestru zilustrowano na rysunku 59.



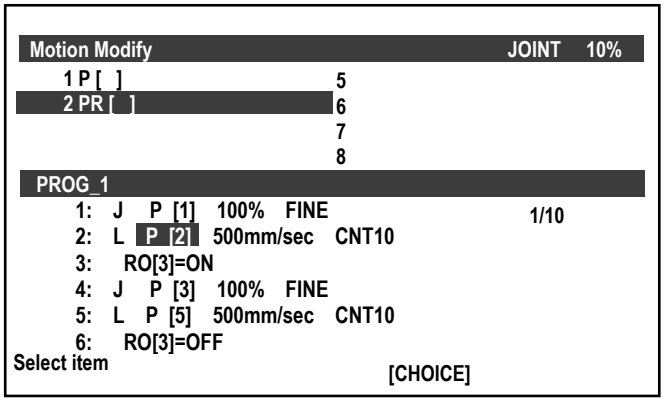
Rysunek 59. Ekran ręcznego programatora podczas definiowania współrzędnych jako wartości rejestru pozycji

Programowanie instrukcji ruchu z wykorzystaniem rejestru pozycji

Aby wprowadzić instrukcję ruchu ze współrzędnymi uprzednio zdefiniowanymi w rejestrze pozycji, należy wykonać następujące czynności:

- zapisać instrukcję ruchu robota poprzez ustawienie go w pożądanej lokalizacji;
- użyć przycisków ↑ i ↓, aby podświetlić P[#];
- wybrać F4 [CHOICE];
- wybrać PR[ ];
- wpisać żądaną wartość dla # w PR[#].

Ekran ręcznego programatora podczas programowania instrukcji ruchu z użyciem punktów zdefiniowanych w rejestrze pozycji zilustrowano na rysunku 60.

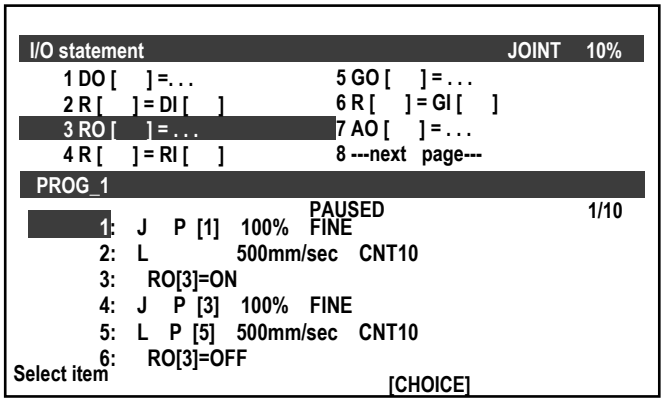


Rysunek 60. Ekran ręcznego programatora podczas programowania instrukcji ruchu z użyciem punktów zdefiniowanych w rejestrze pozycji

4.3.5. Programowanie instrukcji kontroli chwytaka

Aby sterować chwytakiem kontrolowanym przez instrukcję WE/WY, w trakcie edycji tworzonego programu należy wykonać następujące czynności:
- użyć Next;
- wybrać [INST];
- użyć 2 I/O;
- wybrać 3 RO[ ] =...;
- wybrać z klawiatury ręcznego programatora właściwy numer RO i nacisnąć ENTER;
- użyć „ON" (podaj podciśnienie do przyssawki) lub „OFF" (wyłącz podciśnienie w przyssawce).

Ekran ręcznego programatora podczas programowania instrukcji kontroli chwytaka przedstawiono na rysunku 61.

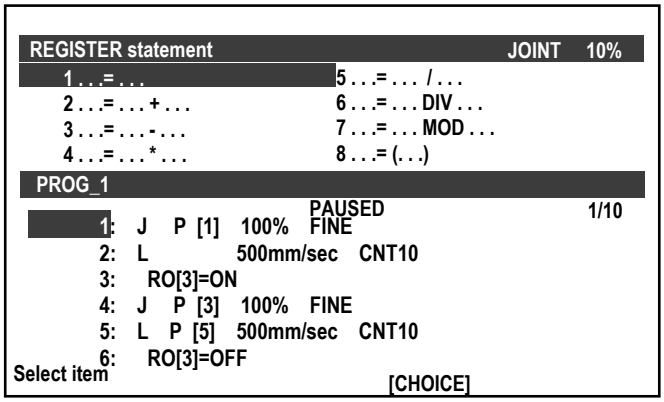


Rysunek 61. Ekran ręcznego programatora podczas programowania instrukcji kontroli chwytaka

4.3.6. Procedura wprowadzania działań matematycznych

W celu wprowadzenia do programu działań matematycznych, w trakcie edycji tworzonego programu należy wykonać następujące czynności:
- użyć Next;
- wybrać [INST];
- użyć 1 REGISTERS;
- wybrać pożądane działanie;
- wstawić właściwe elementy w wyrażenie.

Ekran ręcznego programatora podczas wprowadzania działań matematycznych przedstawiono na rysunku 62.



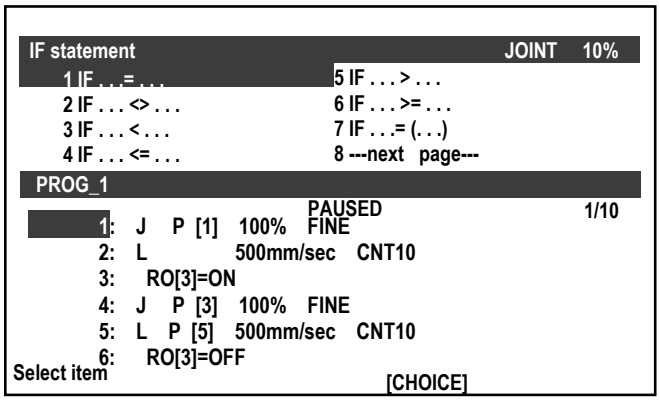
Rysunek 62. Ekran ręcznego programatora podczas wprowadzania działań matematycznych

4.3.7. Procedura wprowadzania wyrażeń logicznych

Aby wprowadzić do programu wyrażenie logiczne, w trakcie edycji tworzonego programu należy wykonać następujące czynności:

– użyć Next;
– wybrać F1 [INST];
– wybrać 3 IF/SELECT;
– wybrać pożądane wyrażenie;
– wstawić właściwe elementy w wyrażenie.

Ekran ręcznego programatora podczas wprowadzania wyrażeń logicznych przedstawiono na rysunku 63.



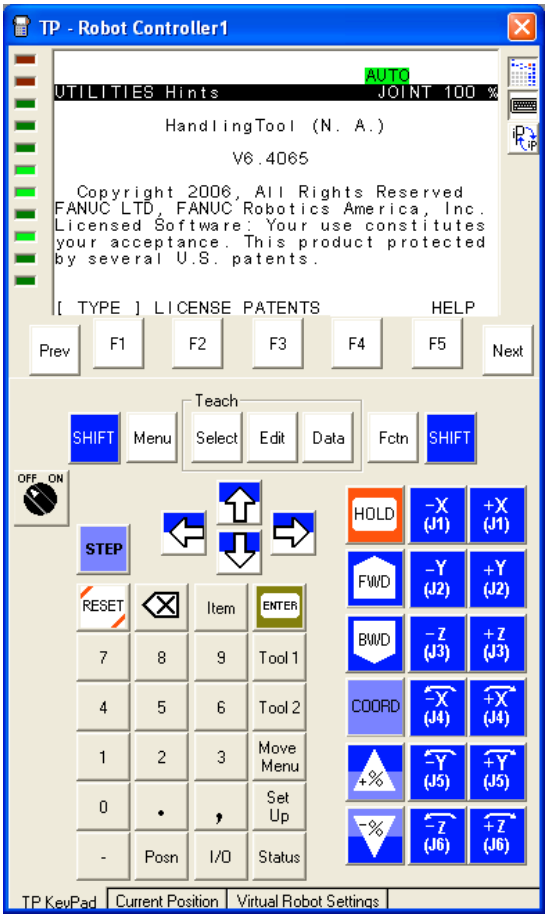
Rysunek 63. Ekran ręcznego programatora podczas wprowadzania wyrażeń logicznych

Aby uruchomić utworzony program, należy przytrzymać klawisz SHIFT i wybrać przycisk FWD.

4.4. Programowanie poza stanowiskiem pracy

Alternatywą dla opisanej powyżej metody *on-line* jest utworzenie programu dla robota przy użyciu specjalnego środowiska programistycznego poza stanowiskiem pracy (metoda *off-line*). Powstały w ten sposób program przesyłany jest do rzeczywistego robota. Analogicznie jak w przypadku programowania na stanowisku pracy, programowanie według metody *off-line* zostanie omówione na przykładzie robota firmy Fanuc Robotics. Firma ta dla swoich robotów oferuje dwa pakiety tego typu oprogramowania, tj. WinOLPC (lub w wersji rozszerzonej WinOLPC+) oraz ROBOGUIDE SimPRO. Pierwszy z wymienionych nie zapewnia możliwości przetestowania gotowego programu. Przy jego wykorzystaniu możliwe jest utworzenie programu sterującego i jego zapisanie w formacie zgodnym ze standardem obowiązującym dla robota. Wersja rozszerzona tego środowiska, tj. WinOLPC+, umożliwia jedynie podgląd punktów w przestrzeni 3D na ekranie monitora. Drugi z wymienionych pakietów oprogramowania – ROBOGUIDE SimPRO, pozwala już nie tylko na tworzenie, ale i testowanie programów dla robota. Oprogramowanie to, wykorzystując wirtualne trójwymiarowe środowisko graficzne odpowiedzialne za wizualizację działania robota, umożliwia symulowanie czynności manipulacyjnych, składających się na tworzony program sterujący. Dzięki jego funkcjonalności możliwa jest optymalizacja procesu produkcyjnego poprzez wybór najbardziej poprawnego algorytmu sterowania uwzględniającego czas cyklu czy przestrzeń kolizyjną z otoczeniem. ROBOGUIDE zapewnia także możliwość przedstawienia opracowanego algorytmu w postaci animacji. Omawiany pakiet oferuje bazę danych robotów firmy Fanuc wraz z informacjami o działaniu i wyglądzie komponentów niezbędnych do zaprojektowania wirtualnego stanowiska pracy robota. Do wspomnianych komponentów można zaliczyć m.in.: chwytaki; elementy współpracujące, takie jak stoły i przenośniki taśmowe, a także palety, paczki itp. Przewidziana została również możliwość importu własnych modeli komponentów, np. z oprogramowania CAD. Należy podkreślić, iż pakiet ROBOGUIDE SimPRO zapewnia, przypominający urządzenie rzeczywiste pod względem wizualnym i funkcjonalnym, wirtualny – ręczny programator (rys. 64) (Politechnika Opolska, 2013; Przydatek i Kaczmarek, 2006; Robotyka.com, 2013).

Ze względu na zalety środowiska programistycznego ROBOGUIDE SimPRO w niniejszym opracowaniu szczegółowo omówiono wybrane elementy procedury tworzenia programu przy wykorzystaniu tego oprogramowania.



Rysunek 64. Wirtualny – ręczny programator

4.4.1. Tworzenie wirtualnego stanowiska pracy

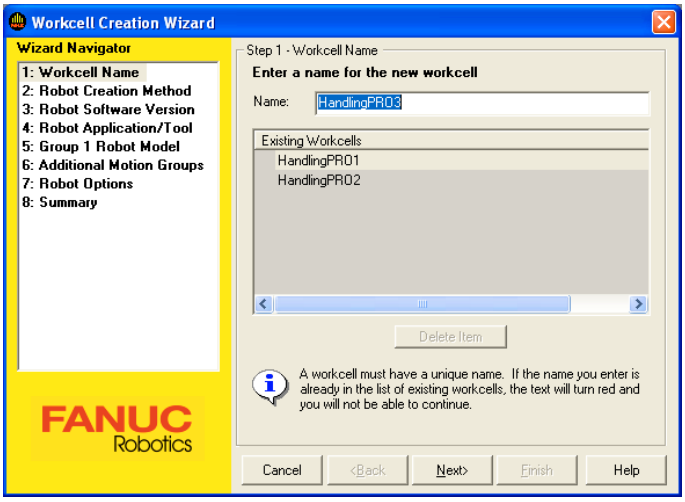
Aby utworzyć projekt wirtualnego, zrobotyzowanego stanowiska pracy, po uruchomieniu programu należy wybrać *Start New Cell*. Pojawi się wówczas okno kreatora *Workcell Creation Wizard* pozwalającego przeprowadzić konfigurację projektu (rys. 65).

Podczas konfiguracji na poszczególnych etapach pracy z kreatorem należy wykonać następujące czynności:

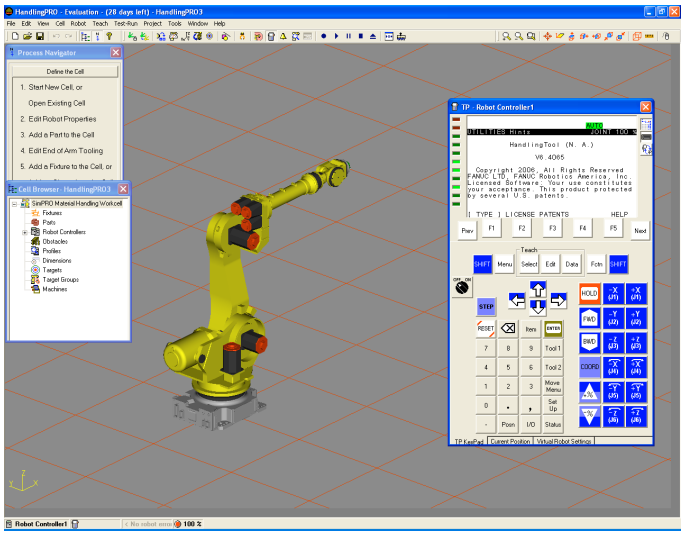
– etap 1 – ustalenie nazwy projektu;
– etap 2 – zaprojektowanie wirtualnego robota;
– etap 3 – wybór wersji oprogramowania systemowego; należy zwrócić uwagę na zgodność wersji z rzeczywistym robotem, do którego utworzony program zostanie przesłany;
– etap 4 – wybór oprogramowania dla robota;

– etap 5 – wybór typu robota;
– etap 6 – konfiguracja zewnętrznych osi robota;
– etap 7 – wybór opcji robota;
– etap 8 – podsumowanie.

Okno programu przedstawiające wirtualne stanowisko pracy zilustrowano na rysunku 66.



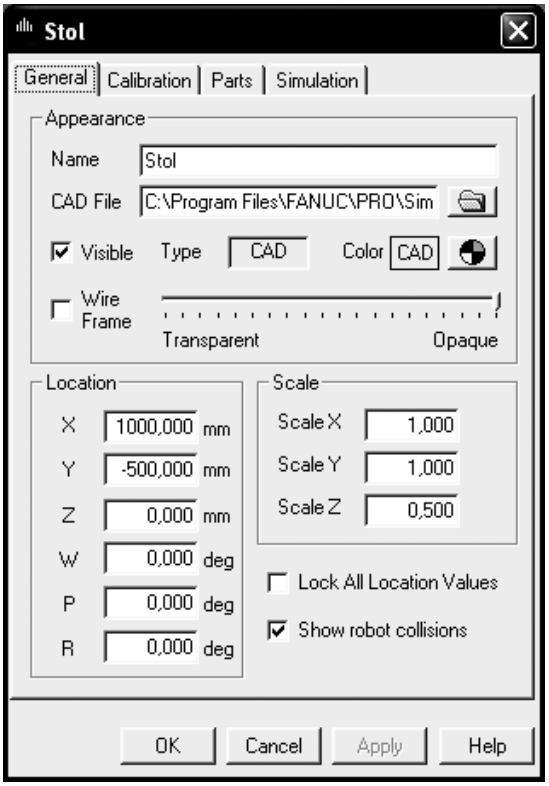
Rysunek 65. Okno kreatora Workcell Creation Wizard



Rysunek 66. Wirtualne stanowisko pracy

4.4.2. Dobór komponentów wirtualnego stanowiska pracy

Pakiet ROBOGUIDE SimPRO oferuje trzy biblioteki zawierające niezbędne komponenty do zaprojektowania zrobotyzowanego stanowiska pracy. Są to biblioteki: *fixtures*, *parts*, *obstacles*. Aby dodać elementy otoczenia robota, takie jak stół czy paleta, należy skorzystać z biblioteki *fixture*. Elementy reprezentujące obiekty poddawane czynnościom manipulacyjnym znajdują się w bibliotece *parts*. Kolejna z wymienionych bibliotek – *obstacles*, zawiera m.in. mechaniczne elementy systemu bezpieczeństwa, takie jak wygrodzenia. Możliwe jest przypisanie elementów wybranej biblioteki do grupy elementów należących do innej biblioteki, tzn. dodanie np. komponentu z biblioteki *fixtures* w taki sposób, aby posiadł funkcjonalność zarezerwowaną dla komponentów biblioteki *parts*. Każdy komponent, który znajduje się w przestrzeni wirtualnego stanowiska pracy, jest scharakteryzowany przez swoje właściwości. Należy je skonfigurować – możliwe jest: nadanie nazwy, zmiana gabarytów, zmiana koloru, obrót wokół własnej osi, przesunięcie, ustawienie w dowolnym miejscu wirtualnego stanowiska pracy. Okno właściwości komponentu stanowiska zilustrowano na rysunku 67.

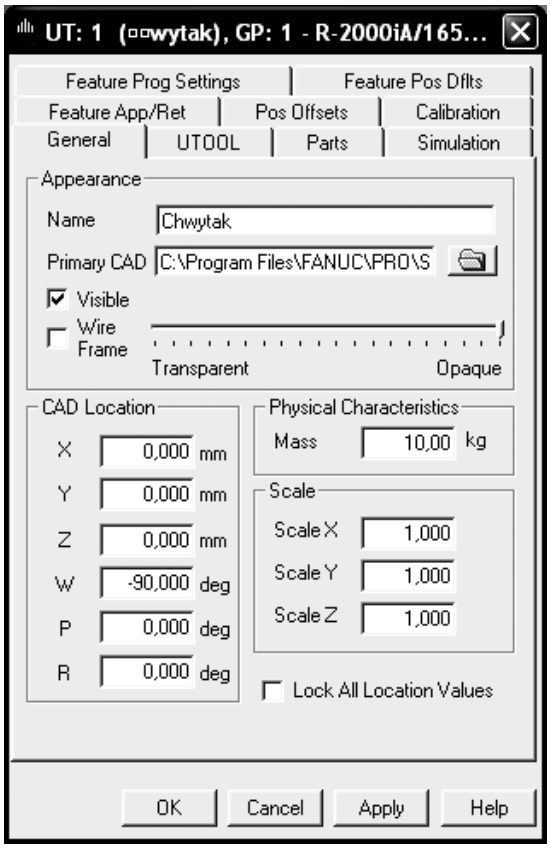


Rysunek 67. Okno właściwości komponentu stanowiska

4.4.3. Dobór chwytaka

Pakiet ROBOGUIDE SimPRO wyposażony został w bibliotekę chwytaków. Aby dodać chwytak, należy wybrać *UT:1 (Eoat1)* (kliknięcie prawym klawiszem myszki w oknie *Cell Browser* na: Robot Controllers → Robot Controller1 → GP:1-R2000iA/165F → Tooling). Następnie w ramach konfiguracji właściwości tego elementu na zakładce *General* w polu *Primary CAD* konieczne jest podanie ścieżki dostępu do pliku z rozszerzeniem *CSB* lub *IGS*, zawierającego chwytak w pozycji otwartej (C:\...\Image Library\EOATs*.igs). Pliki z chwytakiem w pozycji zamkniętej dodaje się na zakładce Simulation, wskazując ścieżkę dostępu w polu Actuated CAD. Okno właściwości chwytaka przedstawiono na rysunku 68.

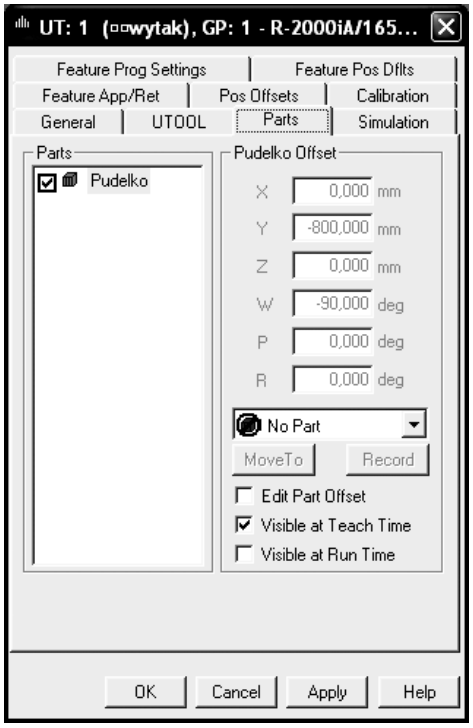
4.4.4. Afiliacja elementów stanowiska



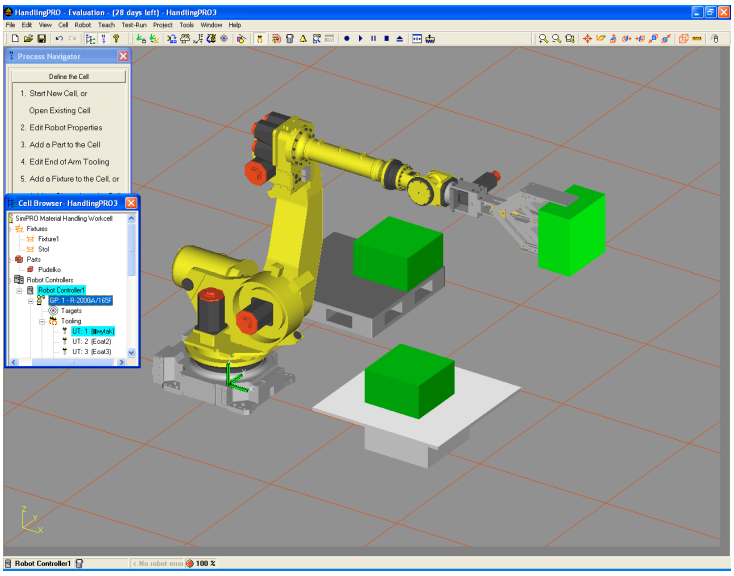
Rysunek 68. Okno właściwości chwytaka

Afiliacja elementów stanowiska polega na zdefiniowaniu ich geometrycznych relacji podczas symulacji działania programu sterującego. Operację tę przeprowadza się w następujący sposób: obiekt, względem którego będą wykonywane czynności manipulacyjne, należy afiliować z innymi stałymi elementami stanowiska, tj.: ze stołem, z paletą, z chwytakiem itd. Afiliacje wykonuje się w zakładce *parts*. Okno właściwości chwytaka podczas wykonywania tej czynności przedstawiono na rysunku 69.

Afiliacja elementów jest ostatnią czynnością składającą się na opracowanie wirtualnego, zrobotyzowanego stanowiska pracy. Po jej wykonaniu można rozpocząć tworzenie programu sterującego robotem. Okno programu przedstawiające przykładowy projekt wirtualnego stanowiska pracy z robotem przygotowanym do zaprogramowania zilustrowano na rysunku 70.



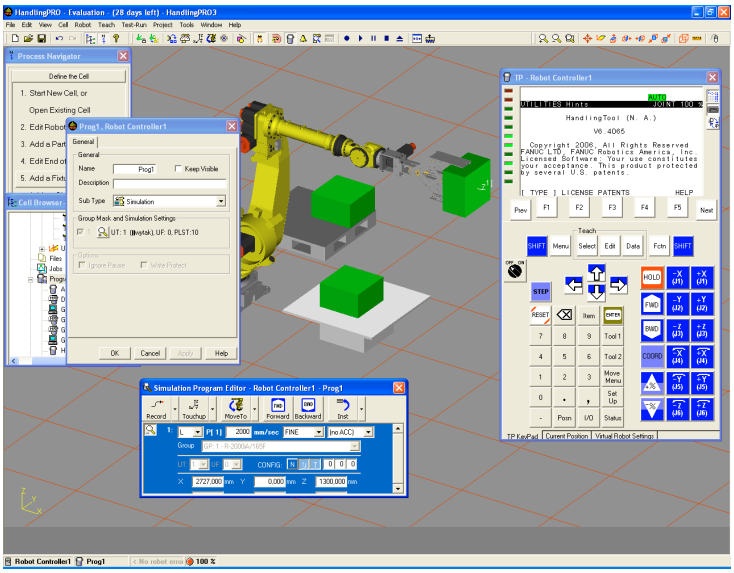
Rysunek 69. Okno właściwości chwytaka – afiliacja elementów



Rysunek 70. Projekt wirtualnego stanowiska pracy

4.4.5. Tworzenie programu robota

W pakiecie ROBOGUIDE SimPRO program sterujący robotem można utworzyć na dwa sposoby. Przy wykorzystaniu wirtualnego – ręcznego programatora metodą uczenia, tak jak to opisano w punkcie poświęconym programowaniu robota przemysłowego na stanowisku pracy, oraz przy zastosowaniu edytora programowania metodą zadaniową, korzystając z afiliacji utworzonych wcześniej między elementami stanowiska. W przypadku drugiego sposobu przez zadanie rozumie się opis przemieszczenia robota, taki jak np.: „idź po obiekt do stołu", „idź z obiektem do palety". Aby utworzyć metodą zadaniową program, należy uruchomić edytor programowania. W tym celu konieczne jest wybranie *Add Simulation* Program (kliknięcie prawym klawiszem myszki w oknie Cell Browser na: Robot Controllers → Robot Controller1 → GP:1-R2000iA/165F → Programs). Wirtualne stanowisko pracy podczas programowania robota zilustrowano na rysunku 71.



Rysunek 71. Wirtualne stanowisko pracy podczas programowania robota

Aby sprawdzić poprawność algorytmu utworzonego programu sterowania robotem, należy przeprowadzić symulację jego działania. Uruchomienie symulacji następuje po kliknięciu na przycisk *Cycle Start* znajdujący się na pasku narzędzi.

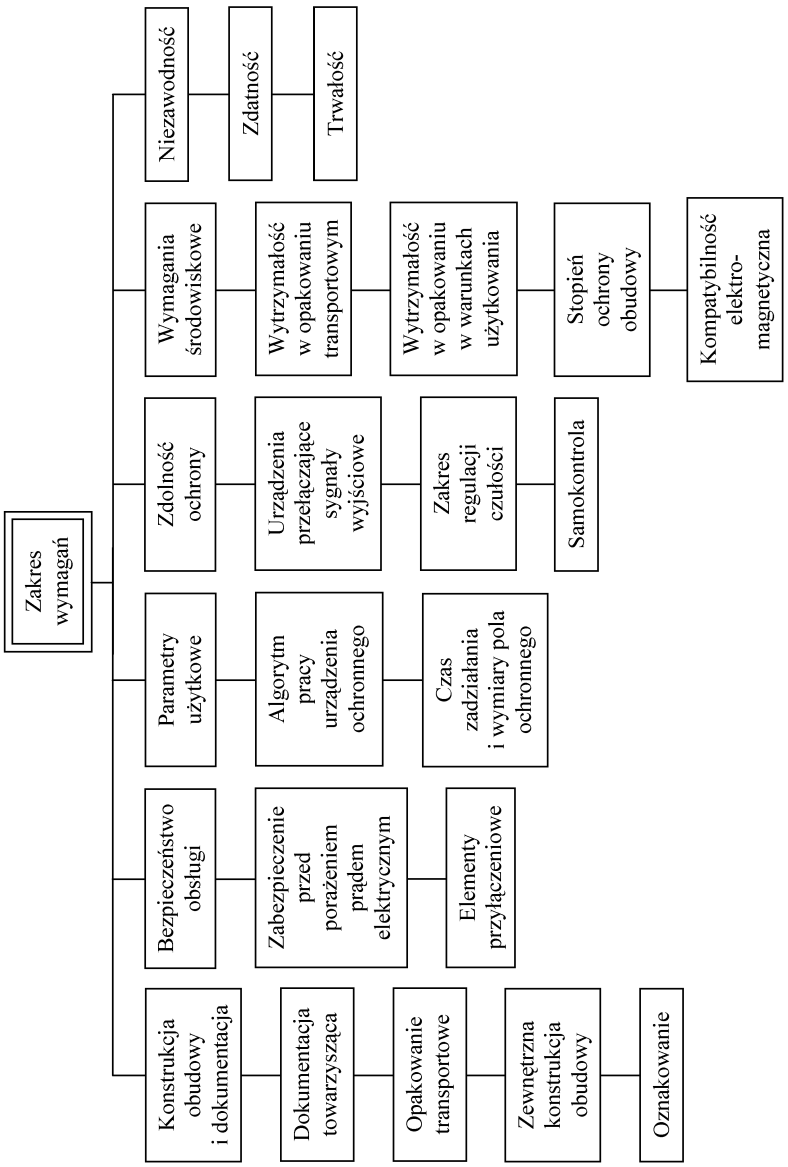
5. BEZPIECZEŃSTWO PRACY W ZROBOTYZOWANYCH SYSTEMACH PRODUKCYJNYCH

5.1. Ogólne wymagania dla urządzeń zabezpieczających

W przypadku zrobotyzowanych stanowisk ważnym zagadnieniem jest bezpieczeństwo pracy operatorów i innych pracowników znajdujących się w strefie ryzyka. Zapewnienie go nieodzownie wiąże się z koniecznością wyposażenia tego rodzaju stanowisk w systemy zabezpieczające. W Polsce badaniami dotyczącymi problematyki z zakresu bezpieczeństwa i ochrony człowieka w środowisku pracy zajmuje się Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy w Warszawie. Należy zaznaczyć, iż nie ma odrębnych dokumentów normatywnych, dotyczących bezpieczeństwa i obsługi, odnoszących się wyłącznie do robotów przemysłowych. Przy doborze systemów bezpieczeństwa dla zrobotyzowanych stanowisk pracy stosuje się ogólne dokumenty normatywne dotyczące bezpieczeństwa i obsługi maszyn, są to m.in. normy: PN-EN 999:2002, PN-EN 61496-1:2007P, PN-EN ISO 13849-1:2008E lub alternatywna PN-EN 62061:2008P. System zabezpieczający zrobotyzowanego stanowiska pracy składa się z szeregu elementów, wśród których można wymienić: ogrodzenia ochronne, klatki, bariery lub łańcuchy, optoelektroniczne i naciskowe urządzenia bezpieczeństwa, zamki, blokady, oznaczenia na podłodze, sygnalizatory optyczne i akustyczne oraz przyciski bezpieczeństwa. Różnorodny obszar zastosowań systemów bezpieczeństwa wymusza w stosunku do nich wysoki poziom wymagań, zwłaszcza w zakresie ich niezawodności oraz dostosowania do warunków panujących na konkretnym stanowisku pracy. Realizacja funkcji ochronnych determinuje wymóg szczególnej odporności urządzeń wchodzących w skład systemów bezpieczeństwa na niekorzystne zjawiska występujące w trakcie pracy. Do tych zjawisk można zaliczyć m.in.: nieostrożne obchodzenie się, wilgotność, zmiany temperatury otoczenia, działanie czynników chemicznych, korozję oraz występowanie pól elektromagnetycznych o dużej energii. Zgodnie z obowiązującymi przepisami urządzenia ochronne, współpracujące z maszynami o podwyższonym poziomie ryzyka, podlegają, dokonywanym przez upoważnione jednostki niezależne od producenta, obowiązkowym badaniom i certyfikacji na zgodność z postanowieniami dokumentów normatywnych. Pełny zakres wymagań stawianych urządzeniom wchodzącym w skład systemów bezpieczeństwa ilustruje schemat na rysunku 72 (Dźwiarek, 1995).

Uwzględnia on normy i zalecenia dotyczące bezpieczeństwa pracy oraz konieczność poprawnego funkcjonowania urządzeń w różnorodnych warunkach spotykanych w przemyśle.

Informacja na temat warunków pracy, do jakich przystosowane jest urządzenie, podawana jest w postaci kodu *IP* (Ingress Protection Rating), który ujęty jest w katalogach produktów oraz uwidoczniony na produktach.



Rysunek 72. Grupy wymagań bezpieczeństwa dla bezdotykowych urządzeń ochronnych

Źródło: Dźwiarek, 1995

Kod jest elementem zgodnego z normą PN-EN 60529:2003P systemu oznaczeń stopni ochrony (zapewnianej przez obudowę) aparatu lub urządzenia elektrycznego przed:

– dostępem do części niebezpiecznych;
– wnikaniem obcych ciał stałych;
  wnikaniem wody.

Kod składa się z liter *IP* oraz z występujących po nich dwóch do czterech znaków, z których pierwszy (pierwsza cyfra charakterystyczna – od 0 do 6, lub litera X) oznacza odporność na penetrację ciał stałych. Drugi znak (druga cyfra charakterystyczna – od 0 do 8, lub litera X) oznacza odporność na penetrację wody. Trzeci znak to litera dodatkowa, nieobowiązująca (A, B, C, D). Czwarty znak stanowi litera uzupełniająca, nieobowiązująca (H, M, S, W). Przykładowe oznaczenie urządzenia może mieć następującą formę: IP 67CH. Znaczenie poszczególnych elementów kodu ilustrują tabele 25–28.

Tabela 25. Stopnie ochrony przed dostępem do części niebezpiecznych (ochrony od dotyku bezpośredniego) oraz ochrony przed obcymi ciałami stałymi oznaczone pierwszą charakterystyczną cyfrą

Pierwsza charakterystyczna cyfra	Stopień ochrony	
	Krótki opis	Określenie
1	2	3
Uwaga: Dla każdego stopnia ochrony wiersze kolumn 2 i 3 podzielono na górne i dolne. W górnych wpisano dane dotyczące ochrony przed dostępem do części niebezpiecznych (tj. ochrony od dotyku bezpośredniego), a w dolnych dane dotyczące ochrony przed obcymi ciałami stałymi.		
0	Bez ochrony	—
1	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych wierzchem dłoni	Próbnik dostępu, kula o średnicy 50 mm, powinna zachować odpowiedni odstęp od części niebezpiecznych
	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 50 mm i większej	Próbnik przedmiotowy, kula o średnicy 50 mm, nie może wchodzić całkowicie [1)]
2	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych palcem	Przegubowy palec probierczy o średnicy 12 mm i długości 80 mm powinien zachować odpowiedni odstęp od części niebezpiecznych
	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 12,5 mm i większej	Próbnik przedmiotowy, kula o średnicy 12,5 mm, nie może wchodzić całkowicie [1)]
3	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych narzędziem	Próbnik dostępu o średnicy 2,5 mm nie może wchodzić
	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 2,5 mm i większej	Próbnik przedmiotowy o średnicy 2,5 mm nie może wchodzić całkowicie [1)]
4	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych drutem	Próbnik dostępu o średnicy 1,0 mm nie może wchodzić
	Ochrona przed obcymi ciałami stałymi o średnicy 1,0 mm i większej	Próbnik przedmiotowy o średnicy 1,0 mm nie może wchodzić całkowicie [1)]
5	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych drutem	Próbnik dostępu o średnicy 1,0 mm nie może wchodzić
	Ochrona przed pyłem	Przedostawanie się pyłu nie jest całkowicie wykluczone, ale pył nie może wnikać w takich ilościach, aby zakłócić prawidłowe działanie aparatu lub zmniejszać bezpieczeństwo
6	Ochrona przed dostępem do części niebezpiecznych drutem	Próbnik dostępu o średnicy 1,0 mm nie może wchodzić
	Ochrona pyłoszczelna	Pył nie może wnikać
[1)] Cała średnica próbnika przedmiotowego nie może przejść przez otwór w obudowie.		

Źródło: PN-EN 60529:2003P

Tabela 26. Stopnie ochrony przed wodą oznaczone drugą charakterystyczną cyfrą

Druga charakterystyczna cyfra	Stopień ochrony	
	Krótki opis	Określenie
0	Bez ochrony	—
1	Ochrona przed pionowo padającymi kroplami wody	Pionowo padające krople wody nie wywołują szkodliwych skutków
2	Ochrona przed pionowo padającymi kroplami wody przy wychyleniu obudowy do 15°	Pionowo padające krople wody przy wychyleniu obudowy o dowolny kąt do 15° od pionu w każdą stronę, nie wywołują szkodliwych skutków
3	Ochrona przed natryskiwaniem wodą	Woda natryskiwana pod dowolnym kątem do 60° od pionu z każdej strony, nie wywołuje szkodliwych skutków
4	Ochrona przed bryzgami wody	Woda rozbryzgiwana na obudowę z dowolnego kierunku nie wywołuje szkodliwych skutków
5	Ochrona przed strugą wody	Woda lana strugą na obudowę z dowolnej strony nie wywołuje szkodliwych skutków
6	Ochrona przed silną strugą wody	Woda lana silną strugą na obudowę z dowolnej strony nie wywołuje szkodliwych skutków
7	Ochrona przed skutkami krótkotrwałego zanurzenia w wodzie	Obudowa zanurzona krótkotrwale w wodzie, w znormalizowanych warunkach dotyczących ciśnienia i czasu powinna uniemożliwiać wnikanie takiej ilości wody, która powodowałaby szkodliwe skutki
8	Ochrona przed skutkami ciągłego zanurzenia w wodzie	Obudowa ciągle zanurzona w wodzie w warunkach uzgodnionych między wytwórcą i użytkownikiem, lecz bardziej surowych niż według cyfry 7, powinna uniemożliwić wnikanie takiej ilości wody, która powodowałaby szkodliwe skutki

Źródło: PN-EN 60529:2003P

Tabela 27. Stopnie ochrony przed dostępem do części niebezpiecznych oznaczone dodatkową literą

Litera dodatkowa	Stopień ochrony	
	Krótki opis	Określenie
A	Ochrona przed dostępem wierzchem dłoni	Próbnik dostępu, kula o średnicy 50 mm, powinna zachować odpowiedni odstęp od części niebezpiecznych
B	Ochrona przed dostępem palcem	Palec probierczy przegubowy o średnicy 12 mm i długości 80 mm ma zachować odpowiedni odstęp od części niebezpiecznych
C	Ochrona przed dostępem narzędziem	Próbnik dostępu o średnicy 2,5 mm i długości 100 mm ma zachować odpowiedni odstęp od części niebezpiecznych
D	Ochrona przed dostępem drutem	Próbnik dostępu o średnicy 1,0 mm i długości 1 00 mm ma zachować odpowiedni odstęp od części niebezpiecznych

Źródło: PN-EN 60529:2003P

Tabela 28. Litery uzupełniające

Litera Uzupełniająca	Znaczenie
H	Aparat wysokiego napięcia
M	Badania na szkodliwe działanie wnikającej wody, gdy ruchome części urządzenia (np. wirnik maszyny wirującej) są w ruchu.
S	Badania na szkodliwe działanie wnikającej wody, gdy ruchome części urządzenia (np. wirnik maszyny wirującej) są nieruchome.
W	Nadaje się do stosowania w określonych warunkach pogodowych przy zapewnieniu dodatkowych środków ochrony lub zabiegów.

Źródło: PN-EN 60529:2003P

Tradycyjne rozwiązania dotyczące zabezpieczeń stanowisk zrobotyzowanych polegają na:
- koncepcji bezpieczeństwa rozdzielonej od funkcji robota;
- analizie skrajnie niekorzystnych przypadków (zasięgu ramienia robota, jak i czasów zatrzymań);
- przyjęciu dużo większego obrzeża strefy ochronnej, niż jest to konieczne dla danego zastosowania.

5.2. Zabezpieczenia programowalne

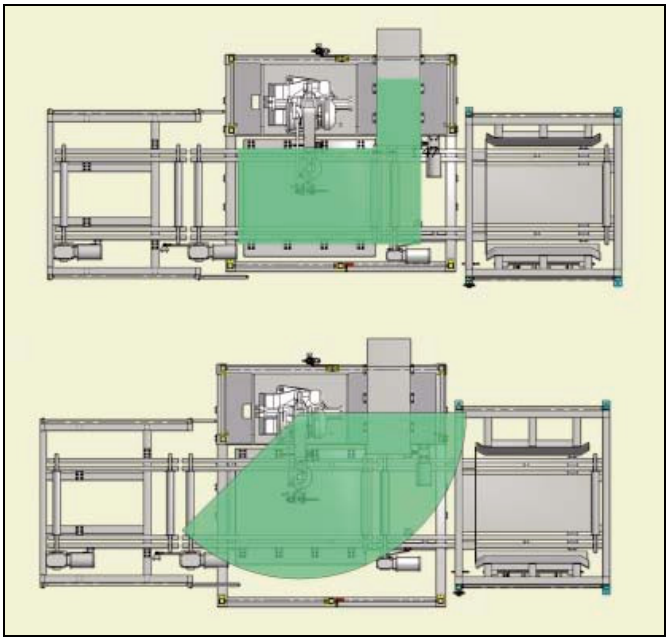
Nową technologię stanowią programowalne rozwiązania zabezpieczające, które mogą być narzędziem do zmniejszania zarysów powierzchni zajmowanej przez zrobotyzowane systemy (rys. 73).

Technologia polega na integracji funkcji robota z funkcjami systemu bezpieczeństwa. Rozwiązanie takie eliminuje potrzebę stosowania tradycyjnych, zewnętrznych urządzeń zabezpieczających. Nowe, programowalne rozwiązania zabezpieczające zapewniają:
- możliwość monitorowania położenia robota poprzez wykorzystanie stref bezpieczeństwa;
- takie ustawienie robota, które uniemożliwia opuszczenie strefy bezpieczeństwa;
- możliwość określenia przez użytkownika rozmiaru i lokalizacji stref bezpieczeństwa stosownie do projektowego rozwiązania (rys. 74).

Producenci robotów mają w swej ofercie programowalne rozwiązania zabezpieczeń stanowisk zrobotyzowanych. Wśród nich znajdują się takie, jak:
- oprogramowanie i zintegrowany ze sterownikiem robota IRC5 sterownik zabezpieczeń *SafeMove* firmy ABB Robotics;
- system *Dual Check Safety* (DCS) firmy FANUC Robotics;
  system *Safe Operation* firmy KUKA Robotics.

Rysunek 73. Zrobotyzowane stanowisko do pakowania

Źródło: Babb, 2010



Rysunek 74. Strefy bezpieczeństwa

Źródło: Babb, 2010

Aby osiągnąć wymagany poziom zabezpieczenia (taki jak kategoria 3 lub wyższa, zgodnie z normą PN-EN ISO 13849-1:2008E), dla zapewnienia koniecznej niezawodności nowe systemy zabezpieczające wykorzystują podwójne procesory.

Proponowane przez wymienionych producentów programowalne systemy zabezpieczeń pozwalają na:

- ograniczenie przestrzeni roboczej robota;
- utworzenie zwartych stanowisk zrobotyzowanych poprzez ograniczanie ruchu robota;
- maksymalizację czasu nieprzerwanej pracy robota;
- zmniejszenie zapotrzebowania na tradycyjne wyposażenie zabezpieczające poprzez:
  - wykorzystanie programowalnych funkcji bezpieczeństwa;
  - niezależne, zduplikowane przetwarzanie informacji dotyczących położenia robota.

Funkcje programowalnych zabezpieczeń stanowisk zrobotyzowanych są realizowane przy wykorzystaniu oryginalnych rozwiązań wymienionych producentów w następujący sposób:

- sterownik zabezpieczeń SafeMove firmy ABB ogranicza ruch robota do trzech trójwymiarowych stref bezpieczeństwa:
  - pierwsza – obszar, w którym robot może pobrać produkt;
  - pozostałe – obszar stanowiska palet i magazynu przekładek;
- system *Dual Check Safety* (DCS) firmy FANUC Robotics monitoruje w czasie rzeczywistym prędkość i położenie robota za pomocą dwóch niezależnych procesorów CPU w sterowniku robota. Rozwiązanie to pozwala wykryć naruszenie ograniczeń położenia oraz prędkości i wyłączyć zasilanie silnika robota poprzez dwa niezależne kanały;
- system *Safe Operation* firmy KUKA Robotics pełni następujące funkcje: monitoruje położenie robota, dostarcza dwukanałowe sygnały wejściowe i wyjściowe, które mogą być wykorzystane do aktywowania określonych urządzeń monitorujących i przekazywania sygnałów innym elementom zabezpieczeń, kiedy robot jest w określonej strefie. System *Safe Operation* określa dwie główne przestrzenie robocze w zrobotyzowanym stanowisku:
  - pierwsza – operacyjna (robot porusza się w niej);
  - druga – zastrzeżona (Babb, 2010).

Zarówno tradycyjne, jak i nowe rozwiązania systemów zabezpieczających wykorzystują szereg urządzeń elektronicznych, do których można zaliczyć m.in. naciskowe i bezdotykowe urządzenia bezpieczeństwa. Pierwsze z wymienionych są czułymi na nacisk urządzeniami wykorzystywanymi w systemach zabezpieczeń; zaliczają się do nich m.in.:

- maty naciskowe;
- listwy krawędziowe;
- zderzaki;
- moduły.

Bezdotykowe urządzenia ochronne, to urządzenia wykorzystujące zmiany pola optycznego, elektrostatycznego, elektromagnetycznego lub innego rodzaju w celu uniemożliwienia włączenia lub przerwania niebezpiecznego ruchu maszyn i urządzeń produkcyjnych przy naruszeniu tych pól częścią ciała człowieka lub przedmiotem. Do urządzeń tych należą m.in. optoelektroniczne urządzenia bezpieczeństwa, ultradźwiękowe urządzenia bezpieczeństwa oraz pojemnościowe lub indukcyjnie działające urządzenia bezpieczeństwa. W niniejszym rozdziale omówione zostaną urządzenia zaliczające się do grupy optoelektronicznych urządzeń bezpieczeństwa, tj.:

– bariery świetlne;
– kurtyny świetlne;
– skanery laserowe.

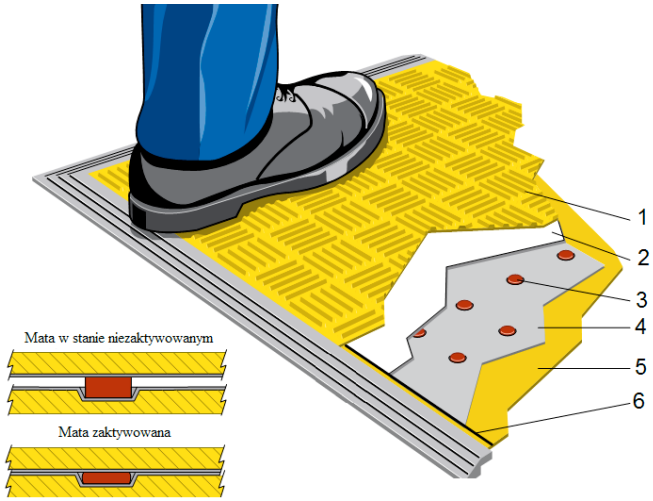
Przytoczone naciskowe i bezdotykowe urządzenia ochronne produkowane są zgodnie z wytycznymi kategorii bezpieczeństwa 2 lub 4 (PN-EN 61496-1:2007P). Te z nich, które spełniają wymogi kategorii drugiej (niski poziom bezpieczeństwa), dedykowane są dla stanowisk pracy, na których zachodzi ryzyko wystąpienia tylko niegroźnych obrażeń (nie pozostawiających trwałych skutków), a częstość narażenia na zagrożenie jest niska lub średnia. Z kolei na tych stanowiskach, na których mogą zostać spowodowane poważne obrażenia (pozostawiające trwałe skutki), a częstość narażenia na zagrożenie jest wysoka, wymagany jest najwyższy poziom bezpieczeństwa urządzeń ochronnych – kategoria czwarta.

Doboru urządzeń ochronnych dla zrobotyzowanego stanowiska pracy dokonuje się, określając kategorię bezpieczeństwa danego stanowiska, na podstawie analizy:
– ryzyka i wymagań dla urządzenia w normalnych warunkach (z uwzględnieniem potrzeby konserwacji);
– stopnia ekspozycji operatora i innych pracowników w strefie ryzyka;
– oszacowania, jak poważne obrażenie może zostać spowodowane w razie ewentualnego wypadku (Oem Automatic, 2013).

5.3. Naciskowe urządzenia bezpieczeństwa

5.3.1. Maty naciskowe

Wymienione wśród urządzeń zapewniających bezpieczeństwo na stanowisku pracy maty naciskowe są czułymi na nacisk urządzeniami wykorzystywanymi w systemach zabezpieczeń. Ich zadanie polega na zasygnalizowaniu obecności operatora w strefie niebezpiecznej maszyny. Odbywa się to dzięki wykorzystaniu czujnika (czujników), będącego elementem składowym maty, który emituje sygnał w odpowiedzi na detekcję działającej lokalnie na powierzchnię maty siły wywartej podczas wtargnięcia operatora w strefę niebezpieczną. Generowany przez czujnik sygnał jest podawany na wejście modułu bezpieczeństwa (nadzorującego), który powoduje zatrzymanie robota. Ułożenie mat naciskowych musi uniemożliwić dostęp do niebezpiecznej strefy operatorowi. Maty zapewniają wyraźne oznaczenie strefy niebezpiecznej, odznaczają się wysoką wytrzymałością na duże obciążenia i odpornością na fałszywe sygnały wywoływane przez upadek drobnych przedmiotów. Budowę maty bezpieczeństwa zilustrowano na rysunku 75.



Rysunek 75. Budowa maty bezpieczeństwa: 1 – powierzchnia maty, 2 – górna warstwa przewodząca, 3 – nieprzewodzące separatory, 4 – dolna warstwa przewodząca, 5 – mocny winyl, 6 – elastyczna powłoka winylowa

Źródło: Oem Automatic, 2013

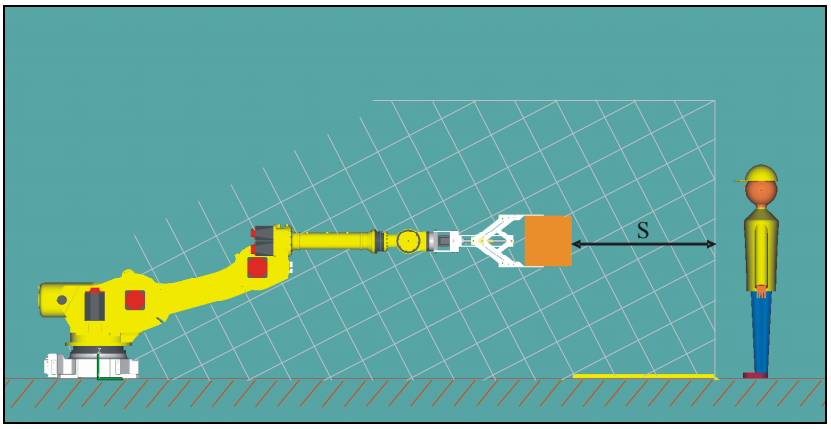
Maty wykonuje się z powleczeniem z polichlorku winylu (PVC) zaopatrzonym w antypoślizgowe przetłoczenia lub z powleczeniem aluminiowym o ryflowanej powierzchni. Dostępne są w wersji modułowej o standardowych wymiarach lub, w przypadku gdy wymagany jest nieregularny kształt, wykonywane są z wymiarami wynikającymi ze specyfiki projektu. Żądaną powierzchnię i kształt maty naciskowej w wersji modułowej uzyskuje się poprzez połączenie ze sobą standardowych modułów. Maty z powleczeniem PVC mogą być realizowane z dwiema strefami czułymi. W tym rozwiązaniu do kontroli obszarów aktywnych maty wykorzystuje się dwa oddzielne obwody, a system jest blokowany, gdy obie strefy maty są aktywne. Maty do podłoża mocowane są specjalnymi profilami następujących typów: pochyłymi opadającymi, o kącie prostym, łączącymi dwie maty i z kanałem na kabel. Sposób ułożenia mat bezpieczeństwa określa polska norma PN-EN 999:2002 (rys. 76).

Według wspomnianej normy, minimalną odległość S między strefą niebezpieczną a krawędzią maty bezpieczeństwa umieszczoną na podłodze należy wyznaczyć przy wykorzystaniu następującej zależności (1):

$$S = (1600 \cdot T) + 1200 \tag{1}$$

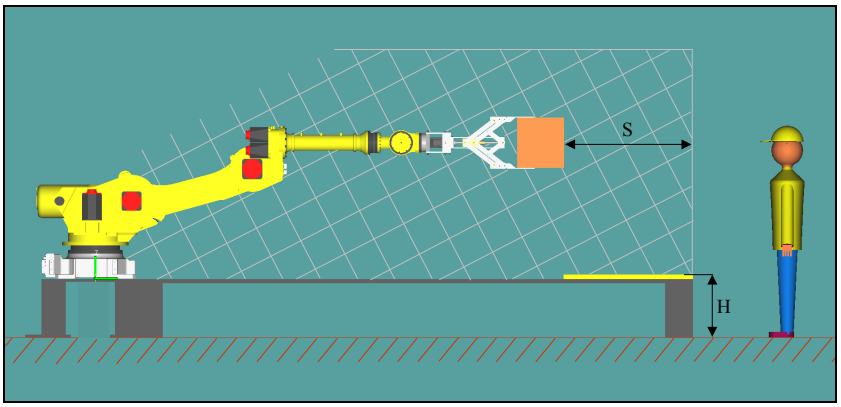
gdzie:

S – odległość bezpieczeństwa, (mm);
T – całkowity czas zatrzymania, t_1+t_2, (s);
t_1 – czas reakcji maty bezpieczeństwa, (s);
t_2 – czas zatrzymywania maszyny, (s).



Rysunek 76. Urządzenie ochronne montowane na poziomie podłogi

Na stanowiskach pracy maty bezpieczeństwa umieszczone są również na pewnej wysokości *H*. Rysunek 77 przedstawia matę zamontowaną na podwyższeniu.



Rysunek 77. Urządzenie ochronne montowane na podwyższeniu

W takiej sytuacji norma PN-EN 999:2002 wyznacza wzór na minimalną odległość *S* między strefą niebezpieczną a krawędzią maty bezpieczeństwa według zależności (2):

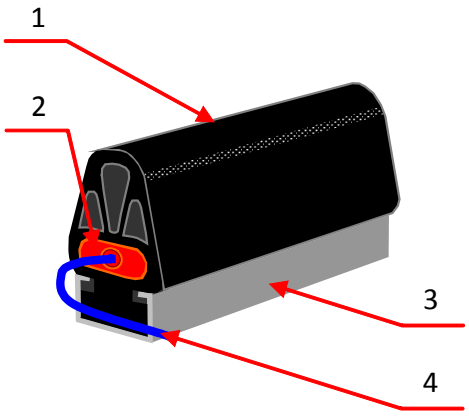
$$S = (1600 \cdot T) + (1200 - 0{,}4H) \tag{2}$$

gdzie:

- S – odległość bezpieczeństwa, (mm);
- T – całkowity czas zatrzymania, t_1+t_2, (s);
- t_1 – czas reakcji maty bezpieczeństwa, (s);
- t_2 – czas zatrzymywania maszyny, (s);
- H – wysokość pomostu, (mm).

5.3.2. Listwy krawędziowe

Innym rodzajem urządzeń czułych na nacisk, używanych w celu zapewnienia bezpieczeństwa na zrobotyzowanym stanowisku pracy, są listwy krawędziowe bezpieczeństwa. Ich zadaniem jest wyeliminowanie ryzyka, jakie niesie ze sobą prawdopodobieństwo kontaktu operatora z elementami maszyny pracującymi w trybie automatycznym. Stosuje się je m.in. przy maszynach i urządzeniach manipulujących jako zabezpieczenia krawędziowe w miejscach, gdzie występuje ściskanie i ścinanie (zgniatanie). Ważnym elementem budowy listwy jest jej czujnik (czujniki) nacisku, który emituje sygnał w odpowiedzi na spowodowane naciskiem odkształcenie się jej części czynnej (2 – 5 mm w zależności od typu listwy). Należy zaznaczyć, że nacisk wywołujący większe odkształcenie w zakresie 5 – 20 mm (w zależności od typu listwy) nie powoduje jej uszkodzenia. Sygnał z czujnika nacisku trafia na wejście modułu bezpieczeństwa. Budowę listwy krawędziowej bezpieczeństwa ilustruje rysunek 78.



Rysunek 78. Budowa listwy krawędziowej bezpieczeństwa*:* 1 – element czynny, 2 – czujnik nacisku, 3 – wspornik, 4 – przewód zasilający

Na tym rysunku listwa krawędziowa bezpieczeństwa zbudowana jest z aluminiowego wspornika (kanału mocującego), do którego zamontowany jest, zawierający czujniki nacisku, element czynny, wykonany z polichlorku winylu (PVC). Wykonuje się listwy o długości do 6 m i o wysokościach: 15 mm, 30 mm i 70 mm. Odległość między punktami zadziałania listwy wynosi 5 mm lub 6 mm. Siła zadziałania równa jest 3 $kg \cdot cm^{-2}$. Stopień ochrony przed penetracją czynników zewnętrznych to IP65. Temperatura pracy zawiera się w przedziale - 10 °C – +50 °C.

5.3.3. Zderzaki naciskowe

Kolejnym rodzajem urządzeń zapewnia-jących bezpieczeństwo na stanowisku pracy są zderzaki naciskowe bezpieczeństwa. Stosuje się je w celu ochrony operatora przed kolizją z maszyną i jej częściami ruchomymi. Podstawowymi częściami konstrukcji zderzaka są wspornik z zamontowanym czujnikiem/ czujnikami nacisku oraz zakrywająca te elementy część czołowa, wykonana z pianki poliuretanowej, pokrytej materiałem zabezpieczającym. W sytuacji, gdy na zderzak zostanie wywarta siła, czujnik nacisku emituje sygnał podawany na wejście modułu bezpieczeństwa (nadzorującego), co powoduje zadziałanie systemu bezpieczeństwa i zatrzymanie maszyny. Konstrukcja zderzaka pozwala już po zadziałaniu systemu bezpieczeństwa na dalsze (zależne od budowy) jego pewne odkształcenie. Zapobiega się w ten sposób twardemu zderzeniu. Przykładowe kształty zderzaków bezpieczeństwa zilustrowano na rysunku 79.

Rysunek 79. Zderzaki bezpieczeństwa

Źródło: Instom, 2013

Zderzaki bezpieczeństwa wykonuje się ze standardowym powleczeniem w postaci tkaniny (z częścią czołową koloru żółtego z czarnymi ukośnymi pasami) lub z powleczeniami specjalnego przeznaczenia, tj. z dedykowanymi do stosowania w środowisku zewnętrznym z polichlorku winylu (PVC), niepalnymi oraz wodoszczelnymi.

5.4. Optoelektroniczne urządzenia bezpieczeństwa

5.4.1. Bariery i kurtyny świetlne

W przypadku obszarów i stref niebezpiecznych, gdzie z różnych powodów nie można zastosować zabezpieczeń w formie mechanicznej lub w postaci naciskowych urządzeń ochronnych, stosuje się bezdotykowe urządzenia bezpieczeństwa, do których można zaliczyć m.in. bariery i kurtyny świetlne. Ich zadanie polega na utworzeniu niewidzialnej bariery o kształcie prostokąta, której naruszenie zostanie zasygnalizowane lub spowoduje zatrzymanie maszyny lub procesu technologicznego. Zasada działania tych urządzeń opiera się na emisji i odbiorze promieniowania świetlnego przez elementy optoelektroniczne. Urządzenia emitują od jednego do kilkudziesięciu promieni świetlnych w paśmie podczerwieni. Za bariery świetlne należy uznać urządzenia o słabszej rozdzielczości (np. 400 mm), emitujące od jednego do kilku promieni świetlnych, natomiast za kurtyny świetlne – urządzenia o lepszej rozdzielczości (np. 30 mm), emitujące do kilkudziesięciu promieni świetlnych. Barierki świetlne wykorzystuje się do ochrony obszarów niebezpiecznych przed wtargnięciem człowieka, natomiast kurtyny świetlne do zabezpieczenia stref niebezpiecznych przed ich naruszeniem przez kończynę ludzką. Przykładową barierę i kurtynę bezpieczeństwa zilustrowano na rysunkach 80 i 81.

Rysunek 80. Barierka świetlna

Źródło: Oem Automatic, 2013

Rysunek 81. Kurtyna świetlna

Źródło: Oem Automatic, 2013

Podstawowymi elementami funkcjonalnymi barier i kurtyn świetlnych są: nadajnik oraz zainstalowany w pewnej odległości odbiornik. Pomiędzy nimi musi istnieć współliniowość, co ogranicza kształt płaszczyzny wykrywania do prostokąta. W tych aplikacjach, gdzie wymagany jest przestrzenny kształt obszaru wykrywania (np. aplikacje narożne), stosuje się specjalne zwierciadła umożliwiające poprowadzenie promieni świetlnych pod kątem pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem. Zastosowanie zwierciadła wymusza jednak redukcję zasięgu kurtyny ze współczynnikiem korekcyjnym 15% na każde zwierciadło. Aby obliczyć efektywny zasięg kurtyny przy zastosowaniu zwierciadeł, można posłużyć się następującą zależnością (3) (Trajdos i Monkiewicz, 2013):

$$Z = Z_{\max}(1-0{,}15)^n \tag{3}$$

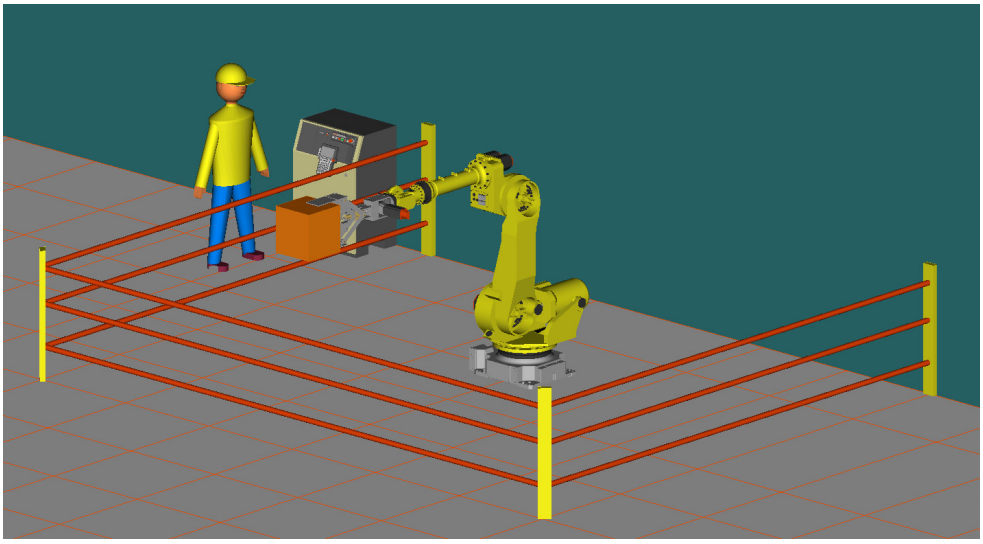
gdzie:

Z – efektywny zasięg kurtyny przy zastosowaniu zwierciadeł, (m);
$Z_{max.}$ – zasięg znamionowy (zwykle 40 m), (m);
n – liczba zastosowanych zwierciadeł.

Bariery i kurtyny świetlne charakteryzują się następującymi parametrami technicznymi:
- kategorią bezpieczeństwa;
- rozdzielczością;
- odległością działania;
- czasem zadziałania;
- wysokością kontrolowaną;
- wysokością barierki/kurtyny;
- liczbą promieni świetlnych;
- zasilaniem.

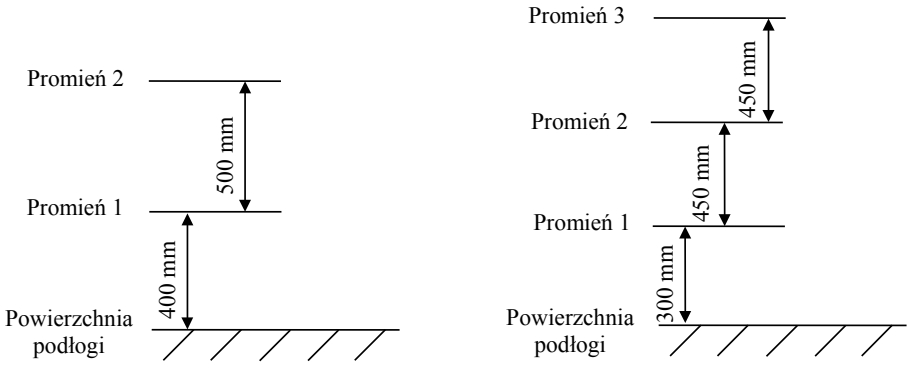
Kategorię bezpieczeństwa w przypadku barier i kurtyn świetlnych określa Polska Norma PN-EN 61496-1:2007P. Urządzenia te wykonywane są zgodnie z wymogami kategorii bezpieczeństwa 2 lub 4. Rozdzielczość rozumiana jako próg wykrywania obiektów o określonych wymiarach to parametr definiowany na podstawie minimalnego rozmiaru przedmiotu, który – wprowadzony w obszar kontrolny barierki czy kurtyny – spowoduje zadziałanie urządzenia. Przykładowo rozdzielczość 30 mm oznacza, że przedmioty o rozmiarze 30 mm bądź większym spowodują zadziałanie bariery/kurtyny. Parametr – odległość działania – definiuje odległość, w jakiej zamontowane muszą zostać dwa elementy funkcjonalne barierki/kurtyny – nadajnik i odbiornik. Czas zadziałania – określa przedział czasu pomiędzy przerwaniem promienia świetlnego bariery/kurtyny świetlnej a zadziałaniem urządzenia. Wysokość kontrolowana – to parametr definiujący wysokość strefy kontrolowanej przez barierę/kurtynę (w przypadku poziomo umieszczonych kurtyn wartość ta przedstawia głębokość strefy chronionej). Wysokość bariery/kurtyny – wskazuje natomiast rozmiar całkowity urządzenia. Wymieniona wśród parametrów technicznych liczba promieni świetlnych określa ich liczbę w przypadku danego urządzenia.

Metody montażu barier i kurtyn świetlnych na stanowiskach pracy formalizują zalecenia zawarte w dokumentach normalizacyjnych. Na rysunku 82 przedstawiono sposób montażu bariery świetlnej.



Rysunek 82. Bariera świetlna

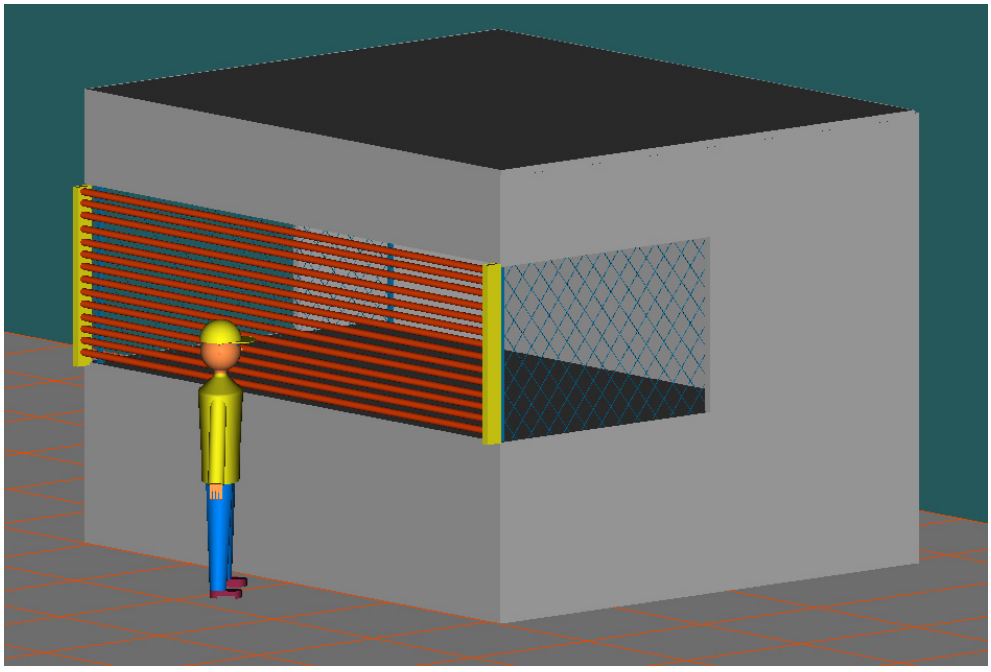
Jak można zaobserwować, urządzenie to pełni rolę niewidocznego ogrodzenia. Dobór jego parametrów, w szczególności liczby promieni świetlnych, wynika z kategorii bezpieczeństwa stanowiska. Według wytycznych zawartych w Polskiej Normie PN-EN 999:2002, dotyczących montażu barier świetlnych, odległości pomiędzy promieniami świetlnymi powinny kształtować się tak, jak zostało to przedstawione na rysunku 83.



Rysunek 83. Sposób montażu bariery świetlnej

Źródło: PN-EN 999:2002

Przykład zabezpieczenia stanowiska pracy przy wykorzystaniu kurtyny świetlnej zilustrowano na rysunku 84.



Rysunek 84. Kurtyna świetlna

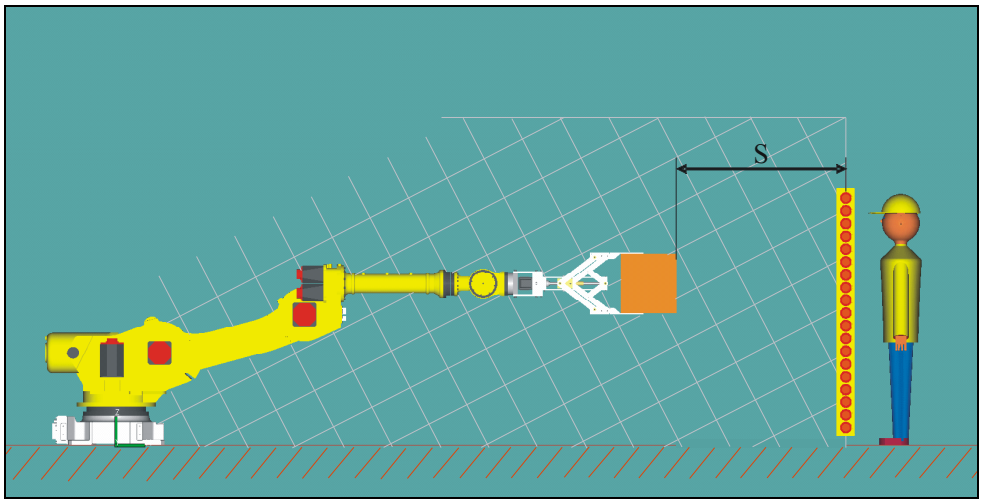
Przedstawiono tu urządzenie zamontowane w płaszczyźnie pionowej. Możliwy jest także montaż poziomy bądź ukośny. Przy instalacji kurtyny świetlnej należy uwzględnić określoną przez Polską Normę PN-EN 999:2002 dodatkową odległość bezpieczeństwa, która zależy od rozdzielczości urządzenia, czasu zatrzymania maszyny i czasu reakcji urządzeń ochronnych. Zabezpieczenie zrobotyzowanego stanowiska z zaznaczoną dodatkową odległością bezpieczeństwa S zilustrowano na rysunku 85.

Według wymienionej normy, minimalną odległość S między strefą niebezpieczną a bramką/kurtyną świetlną należy wyznaczyć przy wykorzystaniu następującej zależności (4):

$$S = K \cdot T + C \tag{4}$$

gdzie:

- S – minimalna dopuszczalna odległość między zabezpieczeniem elektrooptycznym i źródłem ryzyka, (mm);
- K – prędkość ciała/części ciała, (mm·s^{-1});
- T – całkowity czas zatrzymywania, t_1+t_2, (s);
- t_1 – czas reakcji zabezpieczenia elektrooptycznego, (s);
- t_2 – czas zatrzymywania maszyny, (s);
- C – odległość dodatkowa z uwagi na rozdzielczość zabezpieczenia elektrooptycznego lub jego umieszczenie, (mm).



Rysunek 85. Sposób zainstalowania bariery/kurtyny świetlnej

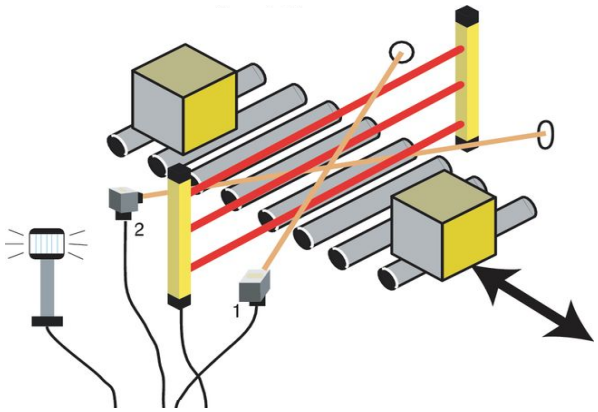
Poziome zamontowanie kurtyny (uwaga - nie bariery świetlnej) lub zamontowanie bariery i kurtyny ukośne, z punktu widzenia zastosowania na zrobotyzowanym stanowisku wydają się nieistotne, dlatego nie omówiono tych rozwiązań.

5.4.1.1. Funkcja zawieszenia działania

Na stanowiskach, gdzie cykl pracy przewiduje okresowy transport materiału przez strefę ochronną, możliwe jest użycie specjalnej funkcji sterowania barierą lub kurtyną świetlną, zapewniającej realizację takiego cyklu pracy. Funkcja ta to automatyczne, czasowe *zawieszenie działania – muting*. Zainicjowanie funkcji następuję po detekcji przez czujniki pomocnicze transportowanego przez strefę ochronną materiału. Rodzaj, liczba i lokalizacja czujników pomocniczych zależą od kategorii bezpieczeństwa danego stanowiska. Funkcję *zawieszenia działania* bariery/kurtyny można zrealizować na dwa sposoby – z wykorzystaniem czujników pomocniczych, usytuowanych równolegle lub szeregowo. W przypadku pierwszego najbardziej uniwersalnego rozwiązania wykorzystuje się 2 czujniki zainstalowane w taki sposób, iż ich powierzchnie detekcji ustawione są względem siebie krzyżowo (rys. 86).

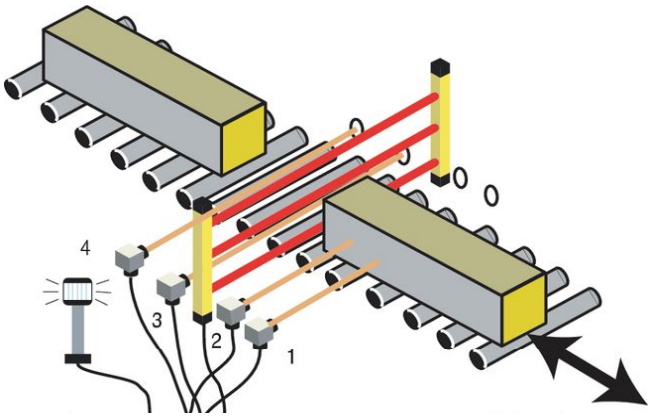
Aby funkcja *zawieszenia działania* bariery/kurtyny mogła zostać uaktywniona, konieczna jest jednoczesna detekcja przez oba czujniki obecności detalu w bezpośredniej bliskości kurtyny. W sytuacji, gdy zbliżający się detal będzie ułożony inaczej niż zaplanowano, funkcja *zawieszenia działania* nie zostanie zainicjowana, co spowoduje wejście detalu w obszar kontrolny barierki/kurtyny i w efekcie awaryjne zatrzymanie maszyny na stanowisku pracy.

Przy drugim z przytoczonych rozwiązań korzysta się z czterech czujników pomocniczych usytuowanych szeregowo (rys. 87).



Rysunek 86. Realizacja funkcji zawieszenia działania – czujniki w układzie równoległym: 1 i 2 – czujniki pomocnicze

Źródło: Rockwell Automation, 2013



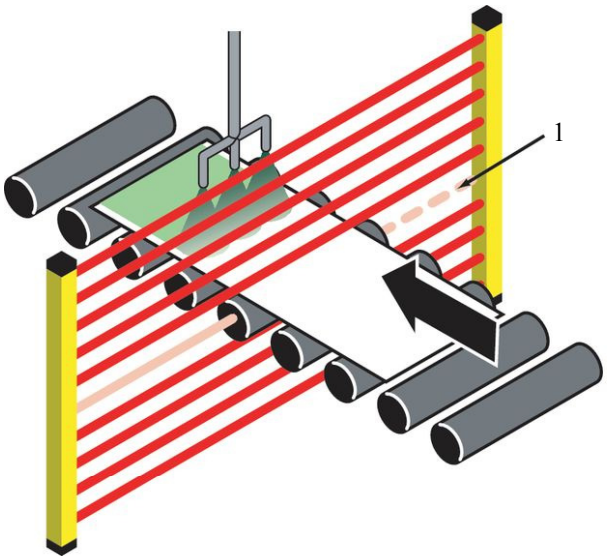
Rysunek 87. Realizacja funkcji zawieszenia działania – czujniki w układzie szeregowym: 1, 2, 3, 4 – czujniki pomocnicze

Źródło: Rockwell Automation, 2013

Aby funkcja *zawieszenia działania* bariery/kurtyny mogła zostać uaktywniona, detekcja przemieszczanego materiału musi nastąpić sekwencyjnie (krawędź przemieszczanego detalu przesłania kolejno czujniki pomocnicze). Takie rozwiązanie pozwala na kontrolę przejazdu i rozmiaru detalu. W tym przypadku jego kształt nie ma wpływu na działanie bariery/kurtyny.

5.4.1.2. Funkcja przesłaniania

Gdy na stanowisku pracy zachodzi potrzeba zignorowania przez barierę/kurtynę znajdujących się w strefie ochronnej przedmiotów związanych z procesem produkcyjnym, stosowana jest funkcja – *przesłaniania* (*blanking-u*) (rys. 88).



Rysunek 88. Realizacja funkcji przesłaniania: 1 – wygaszony promień optyczny

Źródło: Rockwell Automation, 2013

Umożliwia ona wyłączenie części promieni świetlnych w barierce bądź kurtynie. Obiekt, znajdujący się w obszarze z wygaszoną detekcją, nie może zmieniać swojego położenia. Stosowanie tego rozwiązania powinno być dokonywane z duża rozwagą i być połączone z zastosowaniem innych metod uniemożliwiających dostęp do strefy niebezpiecznej maszyny.

5.4.2. Skanery laserowe

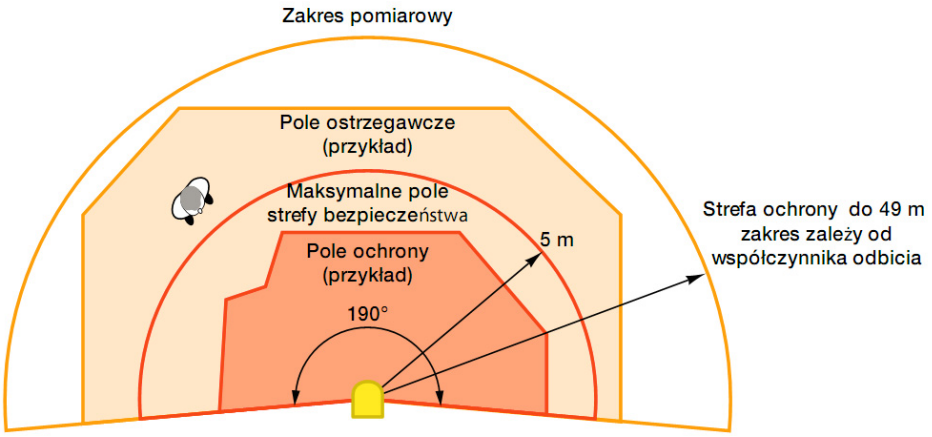
Oprócz barier i kurtyn świetlnych do optoelektronicznych urządzeń ochronnych, używanych w celu zapewnienia bezpieczeństwa na zrobotyzowanych stanowiskach pracy, można zaliczyć laserowe skanery bezpieczeństwa (rys. 89).

Dzięki temu, że podstawowe elementy funkcjonalne tych urządzeń, tj. źródło promieniowania laserowego i odbiornik światła odbitego, znajdują się w jednej obudowie, skanery charakteryzują się stosunkowo niewielkimi rozmiarami i zwartą konstrukcją. Ich zadaniem jest ochrona obszarów niebezpiecznych przed wtargnięciem operatora i innych pracowników znajdujących się w strefie ryzyka. Istnieje możliwość zainstalowania tych urządzeń

w taki sposób, by uzyskać zabezpieczenie w płaszczyźnie poziomej lub pionowej. Do istotnych zastosowań skanerów laserowych można także zaliczyć zapewnienie bezpieczeństwa w aplikacjach automatycznego transportu wewnątrzzakładowego, gdzie urządzenia te współpracują z robotami samojezdnymi. W tym przypadku skaner zainstalowany jest z przodu robota samojezdnego lub na obu kierunkach ruchu (do przodu i do tyłu), jeżeli robot ten jest zdolny do takiego poruszania się. Zasada działania skanera laserowego polega na emisji promieniowania laserowego i jego odbiorze po odbiciu od obiektu, którego położenie jest identyfikowane. Skaner pozwala na definiowanie obszarów wykrywania o złożonych kształtach (rys. 90).

Rysunek 89. Laserowy skaner bezpieczeństwa

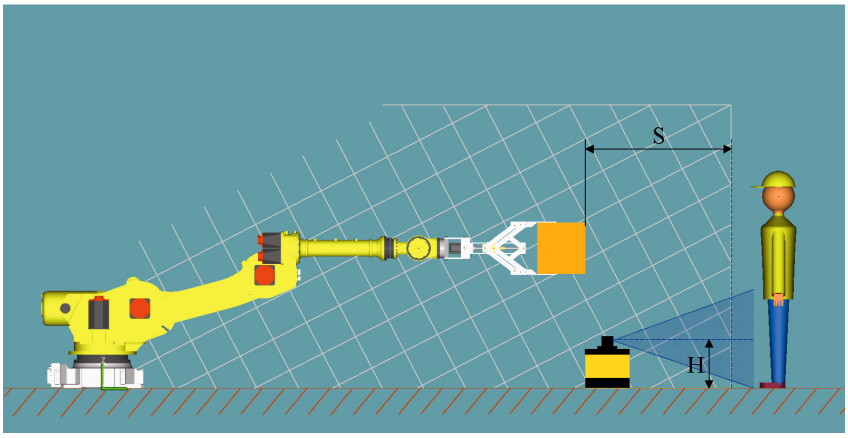
Źródło: Instom, 2013



Rysunek 90. Pole widzenia laserowego skanera bezpieczeństwa

Źródło: Oem Automatic, 2013

Umożliwia zaprogramowanie do czterech stref bezpieczeństwa, z których każda posiada dodatkowo swoją strefę ostrzegawczą. Kiedy nastąpi naruszenie strefy ostrzegawczej, zasygnalizowany jest (optycznie lub dźwiękowo) fakt zbliżenia się do strefy bezpieczeństwa. Natomiast naruszenie strefy bezpieczeństwa skutkuje (w zależności od aplikacji) zatrzymaniem maszyny na stanowisku pracy lub robota samojezdnego. Przy instalacji laserowych skanerów bezpieczeństwa na stanowiskach pracy należy uwzględnić, określoną przez Polską Normę PN-EN 999:2002, dodatkową odległość bezpieczeństwa. Zabezpieczenie zrobotyzowanego stanowiska przy wykorzystaniu skanera z zaznaczoną dodatkową odległością bezpieczeństwa *S* zilustrowano na rysunku 91.



Rysunek 91. Sposób zainstalowania laserowego skanera bezpieczeństwa

Według przytoczonej normy odległość bezpieczeństwa S należy wyznaczyć przy wykorzystaniu następującej zależności (5):

$$S = (K \cdot (T_M + T_S)) + Z_G + Z_R + C \tag{5}$$

gdzie:

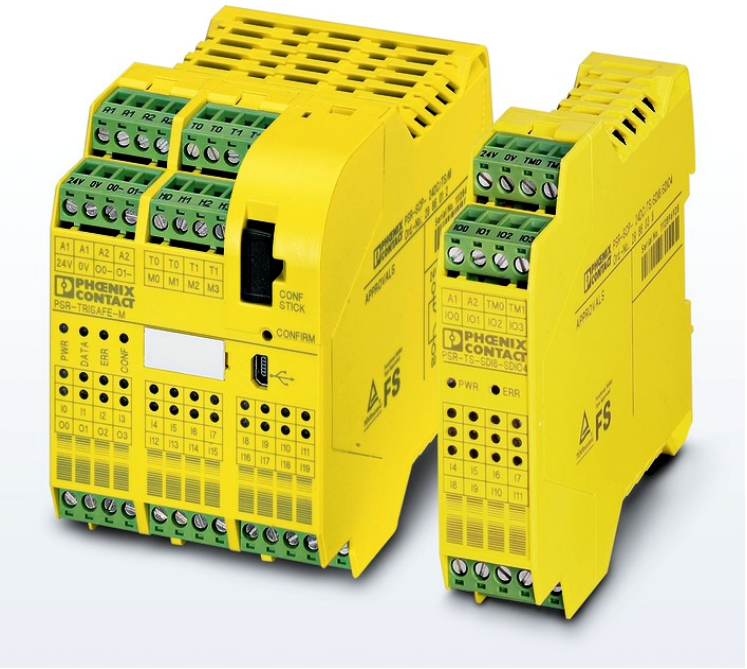
- S – minimalna dopuszczalna odległość między zabezpieczeniem elektrooptycznym i źródłem ryzyka, (mm);
- K – prędkość ciała/części ciała (1600 (mm·s^{-1}) wg normy EN 999);
- T_M – czas zatrzymania maszyny;
- T_S – czas reakcji skanera laserowego;
- Z_G – ogólny dodatek bezpieczeństwa = 100 (mm);
- Z_R – dodatek na ewentualne błędy związane z odbiciem światła;
- C – dodatek zapewniający uniknięcie ryzyka dosięgnięcia maszyny ponad strefą bezpieczeństwa 1200 (mm).

Producenci zapewniają dla skanerów laserowych oprogramowanie konfiguracyjne, które umożliwia ich programowanie, testowanie, dokumentowanie nastaw oraz zabezpiecza przed zabronionymi czynnościami (nieautoryzowaną ingerencją w nastawy). Programowanie urządzeń odbywa się w środowisku PC. Skanera laserowego nie można zastosować w miejscach zadymionych i w przestrzeni, gdzie występuje prawdopodobieństwo pojawienia się wirujących przedmiotów.

Należy podkreślić, iż w przypadku bezdotykowych (w tym optoelektronicznych) urządzeń ochronnych, takich jak bramki, maty lub laserowe skanery, wymagane jest, aby posiadały one co najmniej dwa sygnalizatory świetlne, informujące o aktualnym stanie urządzenia oraz sygnalizujące, czy urządzenie jest podłączone do zasilania i czy jest sprawne oraz czy nastąpiło wtargnięcie do strefy ochronnej. Wszystkie wskaźniki tych urządzeń powinny być oznakowane kolorowymi symbolami i odpowiednimi napisami.

5.5. Moduły bezpieczeństwa

Naciskowe i optoelektroniczne urządzenia bezpieczeństwa, takie jak maty, listwy, zderzaki, bariery, kurtyny i skanery laserowe, współpracują z modułami bezpieczeństwa (nadzorującymi), których zadaniem jest stała kontrola funkcjonalności czujników wykorzystywanych przez te urządzenia. Moduł w sposób ciągły prowadzi detekcję sygnałów i sprawdza poprawność działania czujników. W urządzeniu tym znajdują się dwa przekaźniki bezpieczeństwa ze stykami wymuszonymi (kontakty normalnie otwarte), które odpowiadają za kontrolę czujników i zatrzymanie robota podczas niebezpiecznego ruchu. W sytuacji, kiedy styki czujnika zostaną zamknięte, wyzwalany jest obwód wyjściowy modułu nadzorującego i następuje zadziałanie systemu bezpieczeństwa. Kontrolowana przez moduł nadzorujący maszyna nie może zostać uruchomiona w przypadku, gdy wystąpiło jedno z następujących zdarzeń dotyczących modułu: brak zasilania, awaria, zadziałanie oraz przerwanie obwodu wewnętrznego lub przewodów łączeniowych urządzenia bezpieczeństwa. Zalecana jest współpraca modułu nadzorującego z nie więcej niż czterema czujnikami. Możliwa jest kontrola większej liczby sensorów przez moduł, lecz wówczas nie można skorzystać z funkcji pozwalającej na identyfikację wadliwie działającego czujnika. Przykładowy moduł nadzorujący zilustrowano na rysunku 92.



Rysunek 92. Moduły nadzorujące

Źródło: Phoenix Contact, 2013

5.6. Sterowniki PLC z funkcją bezpieczeństwa

W przypadku naciskowych i optoelektronicznych urządzeń bezpieczeństwa alternatywne i jednocześnie bardziej złożone rozwiązanie dla modułu bezpieczeństwa może stanowić układ interpretujący i przetwarzający informacje w postaci specjalnej wersji sterownika PLC z funkcją bezpieczeństwa. Sterownik taki zilustrowano na rysunku 93.

Rysunek 93. Sterownik PLC z funkcją bezpieczeństwa

Źródło: Instom, 2013

Urządzenie jest przeznaczone do monitorowania czujników bezpieczeństwa. Prowadzi w sposób ciągły detekcję sygnałów i sprawdza poprawność działania czujników. Jego budowa jest modułowa – składa się z jednostki nadrzędnej i podłączonych do niej poprzez specjalne złącza rozszerzeń. Jednostka centralna może być używana również jako urządzenie samodzielne. Posiada wejścia bezpieczeństwa i programowalne wyjścia. Programowanie sterownika odbywa się w środowisku PC. Jest konfigurowany przy wykorzystaniu specjalnego oprogramowanie poprzez interfejs graficzny. Oprogramowanie umożliwia tworzenie złożonych programów z wykorzystaniem operatorów logicznych i funkcji bezpieczeństwa. Plik konfiguracyjny wysyłany jest z komputera PC do jednostki centralnej za pośrednictwem portu USB. Może być zapisany w pamięci sterownika lub na dołączonej do niego karcie pamięci.

5.7. Urządzenia sygnalizacyjne

Uzupełnieniem wymienionych powyżej urządzeń ochronnych, wchodzących w skład systemów bezpieczeństwa, są urządzenia sygnalizacyjne, optyczne i akustyczne. Ich przykłady zilustrowano na rysunkach 94–96.

Rysunek 94. Kolumna sygnalizacyjna

Źródło: Instom, 2013

Rysunek 95. Sygnalizator akustyczny – syrena elektroniczna wielotonowa

Źródło: Instom, 2013

Rysunek 96. Sygnalizator optyczno-akustyczny światłobłyskowy z syreną wielotonową

Źródło: Instom, 2013

5.8. Zasady bezpieczeństwa pracy robota

Na zrobotyzowanym stanowisku pracy strefa robocza manipulatora powinna być oddzielona od pozostałej części hali produkcyjnej przy wykorzystaniu zabezpieczeń mechanicznych (barierki) oraz naciskowych i bezdotykowych urządzeń bezpieczeństwa. Gdy robot jest uruchomiony, obowiązuje bezwzględny zakaz przebywania w tej strefie. W przypadku konieczności natychmiastowego zatrzymania manipulatora należy użyć przycisku awaryjnego zatrzymania (EMERGENCY STOP BUTTON), znajdującego się na panelu operatorskim (rys. 14) oraz na panelu ręcznego programatora (rys. 17).

W trakcie przebywania w strefie roboczej manipulatora konieczne jest zwrócenie szczególnej uwagi na bezpieczeństwo pracy i obsługi robota – zanim robot zostanie uruchomiony, należy spełnić następujące warunki:

- wyłączyć zasilanie robota lub aktywować obwód bezpieczeństwa (nawet, gdy maszyna nie wykonuje czynności manipulacyjnych);
- trzymać w dłoni ręczny programator umożliwiający awaryjne zatrzymanie robota w razie, gdy zajdzie taka konieczność;
- przed włączeniem zasilania sprawdzić, czy w obszarze pracy robota nie znajdują się inne osoby;
- pierwsze uruchomienie nowego programu przeprowadzić w trybie testowym T1 z ograniczoną prędkością manipulatora (rys. 15);
- przed uruchomieniem programu sprawdzić, czy w obszarze pracy robota lub urządzeń peryferyjnych nie znajdują się nieprzewidziane w programie elementy;
- zwrócić uwagę na inne osoby mogące uruchomić robot.

6. ROBOTYZACJA DOJU KRÓW

6.1. Uwagi ogólne

Roboty udojowe produkowane seryjnie przez kilka firm noszą nazwy handlowe m.in. takie jak: Astronaut, Merlin, Leonardo, Freedom, Liberty, Zenith, Solos, Miros, Galaxy. Pierwszego robota firmy Lely zainstalowano w 1992 roku w Holandii. Później własne konstrukcje wprowadziły inne firmy. Robot udojowy zastępuje człowieka wykonując wszystkie czynności związane z dojem, tzn.: identyfikuje krowę, masuje strzyki, zakłada kubki udojowe, zdejmuje kubki udojowe odpowiednio z wydojonych ćwiartek wymienia, myje aparat udojowy i opryskuje wymię po doju. Ponadto dokonuje pomiarów ilościowych i jakościowych mleka. W czasie doju krowa może otrzymywać porcje paszy treściwej, co stanowi także zachętę do podejścia do robota i oddawania mleka.

Krowy cechuje zróżnicowanie wymion pod względem wielkości i kształtu, a strzyki odróżniają się kształtem, wielkością i ich rozstawieniem. Wspomniane cechy wpływają na przydatność krowy do doju, zatem nie każda krowa nadaje się do doju maszynowego. Stosowanie robotów udojowych jest związane z wysokimi wymaganiami odnośnie kształtu wymienia i strzyków (Lipiński i Winnicki, 2006).

Robot udojowy zbudowany jest z elementów mechanicznych i odpowiednio zlokalizowanych elementów i urządzeń elektroniki i automatyki.

Elementy mechaniczne robota udojowego stanowią:
- stanowisko udojowe z bramkami;
- manipulator z aparatem udojowym;
- urządzenie do mycia i masażu wymienia;
- stacja paszowa na stanowisku udojowym;
- myjnia automatyczna;
- urządzenia schładzające mleko;
- przegrody komunikacyjne.

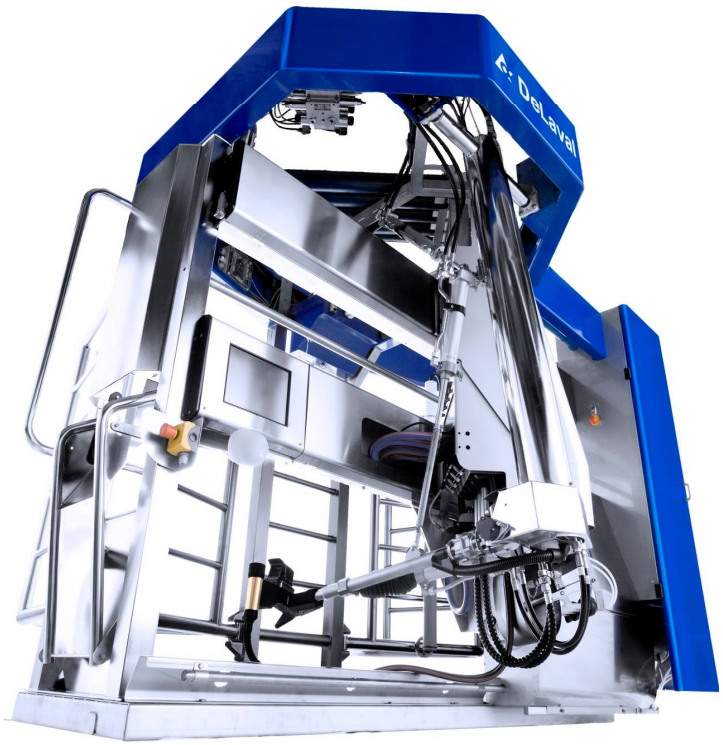
Do urządzeń elektroniki i automatyki robota udojowego można zaliczyć:
- urządzenia identyfikacji krów (transpondery, respondery i in.);
- urządzenia lokalizujące strzyki;
- urządzenia sterujące automatycznym zadawaniem paszy;
- urządzenia sterujące aparatem udojowym (poszczególnymi kubkami);
- miernik mleka;
- miernik aktywności krów;
- system zarządzania stadem.

Zatem w nowoczesnej oborze robot udojowy jest zintegrowany z komputerowym systemem zarządzania stadem. Roboty produkowane są jako jednostanowiskowe, wtedy umieszcza się je bezpośrednio w oborze między legowiskami dla krów. Robot taki może

obsłużyć w ciągu doby około 60-ciu krów. Produkowane są także roboty wielostanowiskowe i lokalizuje się je wówczas w wydzielonym pomieszczeniu.

6.2. Robot udojowy VMS

Przykładem zaawansowanego technicznie robota udojowego jest jednostka VMS firmy DeLaval (rys. 97). Do cech wyróżniających tego robota zaliczyć można:
– dój ćwiartkowy;
– automatyczny pobór próbek mleka;
– indywidualny dla strzyków pomiar wypływu mleka;
– pomiary przewodności mleka;
– licznik komórek somatycznych itp.

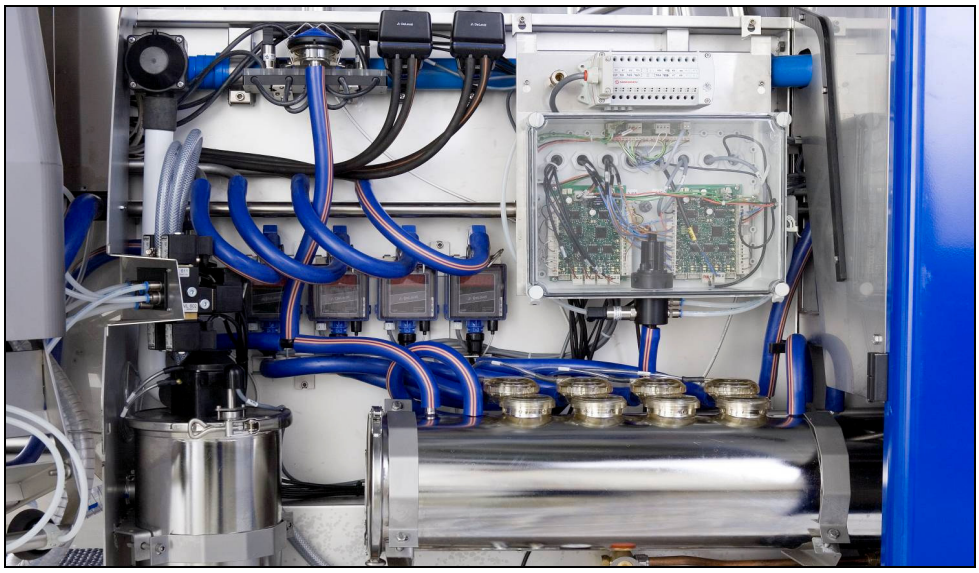


Rysunek 97. Robot udojowy VMS firmy DeLaval

Źródło: DeLaval, 2013b

Cztery optyczne mierniki mleka nieustannie monitorują zmiany i nieprawidłowości w tempie przepływu, ilości mleka, przewodności i wykrywają obecność krwi (rys. 98). Mleko niespełniające norm może być automatycznie skierowane do innego naczynia niż

schładzarka zbiornika, a w tym samym czasie w programie komputerowym zapisywane są wszystkie dane i wydarzenia. Licznik komórek somatycznych, połączony z systemem komputerowym, informuje w czasie rzeczywistym o liczbie komórek somatycznych w czasie doju każdej krowy i pozwala na dokładne monitorowanie stada pod kątem zdrowotności wymion. System zarządzania stadem gromadzi dane, pozwalając hodowcy podjąć właściwe działania. Licznik komórek somatycznych (DCC) jest powiązany z programem zarządzania VMS, dzięki czemu hodowca otrzymuje raporty i wykresy dotyczące liczby komórek somatycznych u poszczególnych krów w stadzie.



Rysunek 98. Zautomatyzowany system pomiarowy

Źródło: DeLaval, 2013b

Urządzenie posiada jedno stanowisko udojowe. Układ optyczny do lokalizacji strzyków zamontowany jest na napędzanym hydraulicznie ramieniu robota. Zastosowane ramię z pojedynczym systemem zakładania kubków udojowych jest zbliżone z rozwiązaniami znanymi z robotów przemysłowych. Dużą zaletą takiego rozwiązania jest to, że pod krową znajduje się wolna przestrzeń w trakcie doju i zwierzę ma większą swobodę. Kubki umieszczane są kolejno na strzykach. Ramię posiada magnetyczny chwytak kubków udojowych. Lokalizacja strzyków realizowana jest w technologii skanowania laserowego (rys. 99, 100). System zapamiętuje położenie strzyków poszczególnych krów, co skraca czas zakładania. Dzięki Auto-Teach – funkcji automatycznego przyuczania, położenie strzyków jest automatycznie rozpoznawane i dój może rozpocząć się natychmiast. Robot umożliwia także ręczne założenie kubków udojowych na wymię.

Rysunek 99. Ramię robota udojowego z magnetycznym chwytakiem kubków udojowych

Źródło: DeLaval, 2013b

Rysunek 100. Lokalizacja strzyków

Źródło: DeLaval, 2013b

Ergonomiczny ekran dotykowy pozwala na szybki dostęp do informacji i umożliwia prostą, intuicyjną kontrolę całego systemu (rys. 101). W celu ułatwienia przyuczenia nowych krów, stacja może być przełączona na system manualny, gdzie ręcznie – w wygodny i bezpieczny sposób, można założyć aparat udojowy. Nie jest zawsze konieczna ręczna obsługa podczas przyuczania krów do doju, bowiem w opcjach znajduje się funkcja automatycznego przyuczania pozycji krowy i położenia strzyków na wymieniu.

Rysunek 101. Panel sterujący robotem VMS

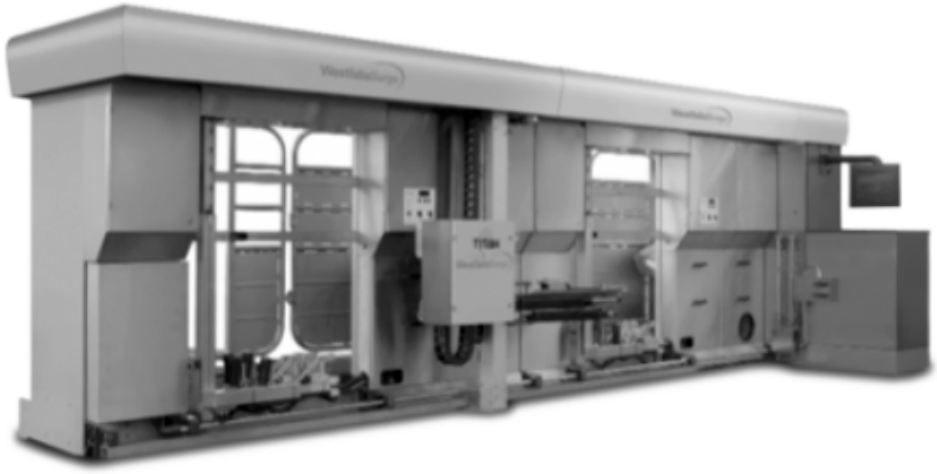
Źródło: DeLaval, 2013b

Robot udojowy najczęściej jest zintegrowany z system zarządzania stadem, który umożliwia pełną kontrolę stada w zakresie doju, żywienia, chłodzenia mleka i wielu innych funkcji. W oparciu o odstępstwa w przerwach między udojami, ilości udojonego mleka, przewodności, obecności krwi w mleku, sprawnie i szybko identyfikuje krowy, które wymagają specjalnej uwagi. Ponadto dostarcza informacji, które zapewniają efektywne kierowanie ruchem krów (DeLaval, 2013b).

System zarządzania stadem DeLaval VMS umożliwia oszczędność czasu dzięki automatycznemu zarządzaniu dostępem do stacji udojowej w oparciu o czas, oczekiwaną ilość mleka, numer laktacji i dzień laktacji. Oprogramowanie systemu umożliwia przekształcenie laptopa lub palmtopa w rodzaj bezprzewodowego pilota, oferując tym samym jeszcze większą kontrolę i niezależność. Można również uzyskać dostęp do systemu DeLaval VMS z dowolnego komputera znajdującego się w domu, biurze lub w innym miejscu.

6.3. Robot udojowy T!TAN

W oferowanych na rynku zrobotyzowanych systemach do doju krów obserwuje się szereg różnego rodzaju rozwiązań technicznych, służących realizacji tego procesu. Analizując je, można przytoczyć kolejny przykład robota udojowego, którym jest T!TAN (rys. 102). Jest to urządzenie 2, 3, 4 i 5-cio stanowiskowe, oferowane na podstawie ogólnoświatowej licencji na technologię doju zrobotyzowanego udzielonej przez firmę Punch Graphix (dawny Prolion) firmie GEA FarmTechnologies/WestfaliaSurge Nordic A/S. Punch Graphix to koncern, w skład którego wchodzi firma RMS (Robotnic Milking Solutions) odpowiedzialna za konstrukcję linii robotów udojowych T!TAN. Robot ma budowę modułową, zapewniającą możliwość łatwej rozbudowy w sytuacji powiększenia stada. T!TAN może obsłużyć stado liczące od 65 do 260 krów mlecznych. System niezależnie od liczby stanowisk udojowych wyposażony jest tylko w jedno ramię realizujące funkcje zakładania kubków udojowych na wszystkich stanowiskach. Robot został wyposażony w podwójny system identyfikacji strzyków – lokalizacji wstępnej i precyzyjnej. Do lokalizacji wstępnej wykorzystywana jest kamera cyfrowa i laser, natomiast lokalizacja precyzyjna odbywa się przy wykorzystaniu czujnika ultradźwiękowego (Czarnociński i Lipiński, 2013).



Rysunek 102. Robot udojowy T!TAN

Źródło: Czarnociński i Lipiński, 2013

6.4. Robot udojowy MIone

Rozwinięciem systemu T!TAN i jego następcą zaproponowanym przez firmę GEA FarmTechnologies/WestfaliaSurge Nordic A/S jest robot MIone (rys. 103). Opracowany model odznacza się niższym zużyciem energii w porównaniu ze swoim poprzednikiem. W przypadku MIone producent położył nacisk na uzyskanie łagodnego przebiegu doju

i zwiększenie szybkości procesu zakładania kubków udojowych. Każdy boks udojowy systemu wyposażony jest w indywidualny aparat udojowy. Boksy obsługuje jedno mobilne ramię robota. System identyfikacji strzyków wykorzystuje zamontowaną na ramieniu robota specjalną kamerę, która lokalizuje kształt oraz pozycję strzyka, a także pozycję kubka udojowego. Po zlokalizowaniu strzyków następuje założenie kubków udojowych (Farm-Test, 2009).

Rysunek 103. Robot udojowy Mione

Źródło: Web-agri.fr, 2013

6.5. Robot udojowy Galaxy Starlin

Rozwiązanie wykorzystujące układ optyczny z kamerą do lokalizacji strzyków zastosowano również w robocie udojowym Galaxy Starlin holenderskiej firmy Insentec, będącej częścią grupy koncernu Hocofarm, opracowującego i produkującego systemy robotów i automatyki obór. Robot znajduje się w ofercie firmy Alima-Bis, która jest jedynym dystrybutorem robotów firmy Insentec w Polsce. Proces zakładania kubków udojowych realizowany jest przez ramię wyposażone w układ optyczny, składający się z kamery cyfrowej wraz z laserem. System automatycznie określa położenie wymienia oraz strzyków i przechowuje tę informację w pamięci. Robot oprócz kubków do doju właściwego wyposażony jest również w dodatkowy kubek doju wstępnego, przy wykorzystaniu którego przeprowadzane jest mycie, suszenie strzyka i dalej dój wstępny. Po zakończeniu doju wstępnego zakładane są kubki na wszystkie strzyki i rozpoczyna się dój właściwy. W Galaxy Starlin zastosowano gumy strzykowe o przekroju kwadratowym zapewniające cztery punkty nacisku na strzyk. Po zakończeniu doju kubki zdejmowane są automatycznie bez udziału ramienia operacyjnego robota. W przypadku robota Galaxy Starlin możliwe jest także ręczne założenie kubków udojowych. Omawiany system zrobotyzowanego doju może być rozbu-

dowany do dwóch stanowisk udojowych. Robota udojowego Galaxy Astrea 20.20 zilustrowano na rysunku 104 (MlecznaFarma.pl, 2013a).

Rysunek 104. Robot udojowy Galaxy Astrea 20.20

Źródło: MlecznaFarma.pl, 2013a

6.6. Robot udojowy Astronaut A3 NEXT

Inny robot udojowy, którego przykład należy omówić, to jednostanowiskowy Astronaut A3 NEXT holenderskiej firmy Lely (firma ta zbudowała pierwszego na świecie robota do doju krów). W jego przypadku do lokalizacji położenia wymienia i strzyków wykorzystywana jest zamontowana na sterowanym pneumatycznie ramieniu jednostka laserowa. Ponadto lokalizacja wymienia wspomagana jest przez informacje z urządzenia ważącego, zamontowanego w podłodze boksu udojowego. Na podstawie rozłożenia masy ciała krowy wykrywane jest położenie części tylnej zwierzęcia, dzięki temu ramię robota ustawiane jest we właściwym miejscu. Przy pierwszym doju krowy robotem, po wprowadzeniu nowej sztuki do stada oraz po każdym wycieleniu, konieczna jest kalibracja robota polegająca na wprowadzeniu do pamięci systemu danych dotyczących położenia wymienia u danej krowy. Kalibracja polega na ustawieniu ramienia w taki sposób, aby tylne kubki udojowe znajdowały się na wysokości przednich strzyków; promień jednostki laserowej musi być wówczas zrzutowany na dolną krawędź tych strzyków. Podczas kalibracji manipulacja ramieniem robota wykonywana jest poprzez użycie kursorów do naprowadzania ramienia, które pojawiają się na pulpicie urządzenia sterującego, gdy uruchomiona zostanie odpowiednia procedura. Na kalibrację należy przeznaczyć około 1,5 min, jej czas zależy od zachowania krowy w boksie udojowym.

W robocie Astronaut A3 NEXT kubki udojowe po doju czyszczone są wyłącznie parą o temperaturze 160°C. Robota zilustrowano na rysunku 105 (Lely 2013).

Rysunek 105. Robot udojowy Astronaut A3 NEXT

Źródło: Lely, 2013

6.7. Robot udojowy ROBOLEO

W analizie zrobotyzowanych systemów udojowych nie można pominąć oryginalnego rozwiązania, jakim jest oferowany przez kanadyjska firmę MILKOMAX mobilny robot udojowy ROBOLEO umożliwiający dój krów w oborze uwięziowej (rys. 106). W tym rozwiązaniu robot przemieszcza się wzdłuż stanowisk z krowami. Urządzenie zamontowane jest na mobilnej obrotowej platformie, dzięki temu możliwy jest dój krów znajdujących się po lewej i prawej stronie robota. Kubki udojowe zakładane są od tyłu krowy pomiędzy tylnymi nogami, które są rozstawiane poprzez specjalne elementy konstrukcji robota. W ROBOLEO strzyki lokalizowane są przy wykorzystaniu systemu laserowego (Mleczna-Farma.pl, 2013b).

Rysunek 106. Robot udojowy ROBOLEO do doju krów w oborze uwięziowej

Źródło: MlecznaFarma.pl, 2013b

6.8. Mobilny robot czyszczący

Należy także wspomnieć o robocie DeLaval RS420S usuwającym odchody zwierzęce do kanału na gnojowicę pod rusztem (rys. 107). Poprawia on znacząco jakość higieny w miejscu przebywania krów i przyczynia się do zmniejszenia stanów klinicznych, wynikających z chorób racic. Robot może obsługiwać skomplikowane układy obory, a nawet upraszcza pracę już na etapie planowania obory, gdyż nie ma konieczności uwzględniania wymagań technicznych planowanych zgarniaczy. Robot pracuje cicho w tempie 4-5 metrów na minutę, co idealnie sprawdza się w oborach wolnostanowiskowych. Robot nie stanowi zagrożenia dla krów, ale jest też wystarczająco wytrzymały i ciężki, aby możliwe kopnięcia krów nie zakłócały jego pracy. Robot wyposażony jest w kontroler z przejrzystym interfejsem i stację ładowania (DeLaval, 2013a).

Sterowanie robotem realizowane jest poprzez wmontowane w posadzkę transpondery prowadzące robota wzdłuż trasy, a czujniki zbliżeniowe nieustannie kontrolują jego pozycję. Ta podwójna nawigacja zapewnia, że robot się nie zgubi lub nie zablokuje wzdłuż trasy. Nawigacja daje częste informacje zwrotne o jego dokładnym położeniu i stosuje procedury bezpieczeństwa dla krów lub wykrywa przeszkody, gdy jest to konieczne. Ponadto możliwe jest nadzorowanie robota w trybie *on-line*. Użytkownik może samodzielnie

określić program usuwania – gdzie i jak często obornik ma być usunięty. Nie ma ograniczeń liczby tras, a harmonogram usuwania może być dowolnie zmieniany. Praca robota może być rejestrowana w formie raportu.

Rysunek 107. Robot czyszczący podłogę rusztową DeLaval RS420S

Źródło: DeLaval, 2013a

6.9. Tendencje rozwojowe w robotyzacji doju krów

W zakresie techniki doju krów prowadzi się w kraju i za granicą szereg prac naukowo-badawczych, których celem jest dostosowanie parametrów pracy urządzeń systemu udojowego do warunków fizjologicznych oddawania mleka przez krowy. Problematyka tych prac obejmuje m.in. nowe konstrukcje kolektora (kolektory ćwiartkowe i autonomiczne), automatyzację kontroli przebiegu doju, na którą składają się pomiary parametrów jakościowych i ilościowych mleka oraz pomiary natężenia wypływu mleka ze strzyka krowy, które powinno wpływać na wartość podciśnienia w komorze podstrzykowej kubka udojowego. Ostatecznie jednak poprzez automatyzację i robotyzację należy usunąć rozbieżność między dojem maszynowym a naturalnym. Ciągle obserwuje się, iż parametry doju maszynowego są tak dobierane, aby optymalizować ten proces w kierunku maksymalizacji wydajności urządzeń. Jednak wiadomo, że tylko naturalny proces doju nie powoduje schorzeń wymion krów (Juszka, 2006).

6.10. Udojowe stanowisko naukowo-badawcze

W Katedrze Energetyki i Automatyzacji Procesów Rolniczych UR w Krakowie prowadzone są prace badawcze na stanowisku udojowym, wyposażonym w najnowocześniejsze urządzenia firmy DeLaval, nad doskonaleniem systemu sterowania aparatem udojowym. Na tym stanowisku realizowane są prace nad systemem automatycznego sterowania: podciśnieniem ssącym w komorze podstrzykowej oraz pulsacją podciśnienia w komorze międzyściennej. System sterowania pracuje na programowalnym sterowniku logicznym, komunikując się z komputerową aplikacją, realizującą wizualizację procesu doju krów. Algorytm programu sterującego opracowano z zastosowaniem technik logiki rozmytej jako metody należącej do dziedziny sztucznej inteligencji.

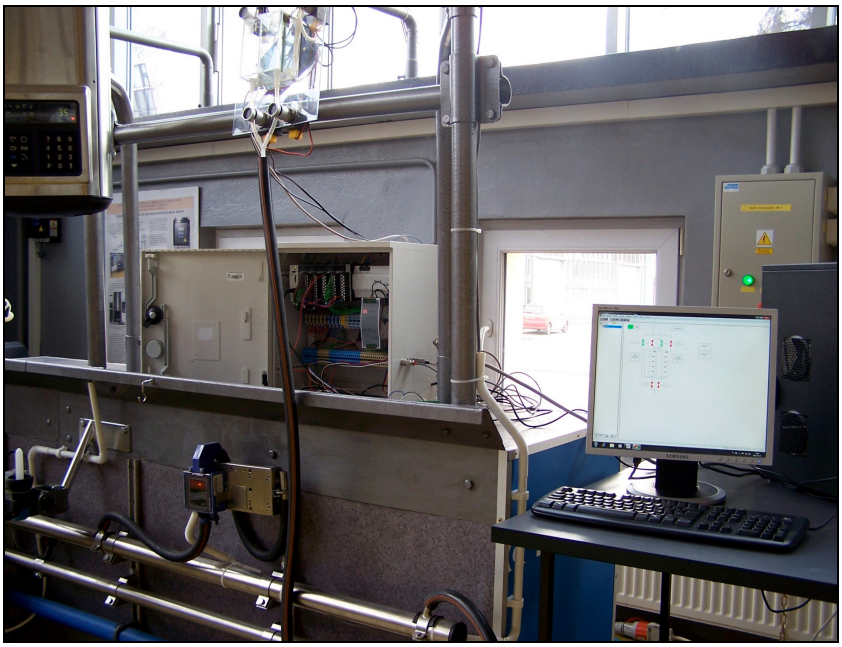
Na rysunku 108 przedstawiono udojowe stanowisko naukowo-badawcze. W ramach budowy wykonano instalację podciśnieniową z elektronicznym regulatorem podciśnienia oraz fragment instalacji mlecznej. Instalacja podciśnieniowa posiada mikroprocesorowy układ stabilizacji podciśnienia. Podstawowym urządzeniem, odpowiedzialnym za parametry doju maszynowego krów, jest kontroler MP 700. Kontroler ten na bieżąco informuje dojarza o przebiegu doju (czas trwania, udój i in.). W zestawieniu z systemem zarządzania stadem ALPRO® uzyskuje się dostęp do danych o każdej krowie i całym stadzie. Dodatkowo ze sterownikiem połączony jest komputer PC, zawierający aplikację do zbierania danych i wizualizacji procesu doju (rys. 109). Na sterowniku PLC zaprogramowany jest system sterowania aparatem udojowym. Komputer posiada aplikację sterującą dojem wraz z wizualizacją, tym samym stanowi system nadrzędny dla sterownika PLC.

Układ podciśnienia tej instalacji udojowej jest wyposażony w regulator obrotów silnika elektrycznego sterujący wydajnością agregatu podciśnieniowego oraz regulator podciśnienia w instalacji (rys. 111). Dzięki tym urządzeniom m.in. zmniejsza się poziom hałasu i pobór mocy. Z przeprowadzonych przez producenta badań doświadczalnych wynika, że przy instalacji z robotem udojowym VMS (gdzie wymagana jest współpraca w systemie pełnej gotowości do doju) zużycie energii elektrycznej uległo zmniejszeniu z 45 kWh do 13–18 kWh, przy ok. 4000 godzinach pracy. Testy wykazały oszczędność energii elektrycznej na poziomie 30–65 %. Czujnik podciśnienia w instalacji powietrznej kontroluje wartość podciśnienia i przesyła sygnał do sterownika, który ma zaimplementowany algorytm regulatora PID. Regulator ten oblicza wartość sygnału sterującego tak, aby wartość wytwarzanego podciśnienia była jak najbliżej wartości zadanej. Podstawowa funkcja układu VFDC polega na kontroli wydajności agregatu według ustawień żądanej wartości w czasie rzeczywistym. Sterownik posiada funkcję autotuningu, pozwalającą dopasować parametry nastaw regulatora do instalacji.

Dla zwiększenia poziomu bezpieczeństwa instalację wyposażono w zawór bezpieczeństwa, który dodatkowo stabilizuje podciśnienie, nie dopuszczając do przekraczania wartości zadanej.

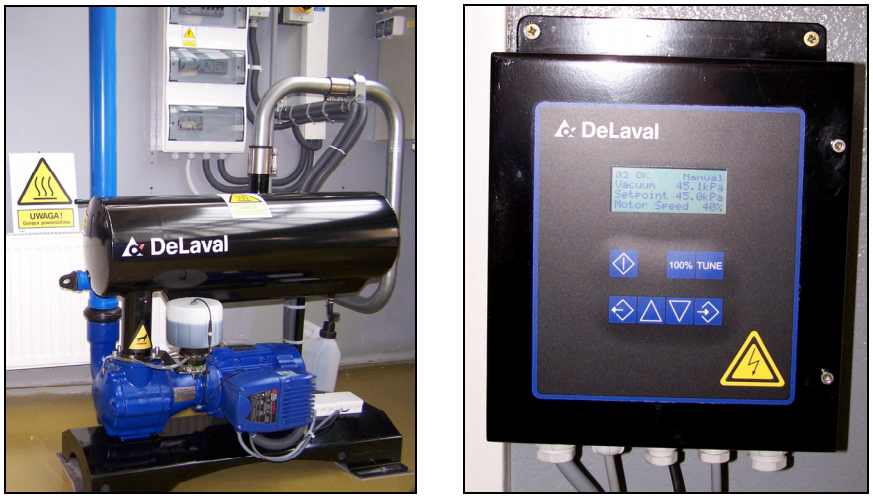
Kolejnym urządzeniem udojowego stanowiska badawczego jest jednostka końcowa SR, wyposażona w pływakowy czujnik poziomu mleka, który steruje pompą przesyłającą mleko do zbiornika schładzalnika (rys. 112).

Rysunek 108. Udojowe stanowisko naukowo-badawcze



Rysunek 109. Stanowisko udojowe z dołączonym sterownikiem PLC i komputerem z wizualizacją

Rysunek 110. Kontroler MP 700 z procesorem MPC II
współpracuje z miernikiem wypływu mleka MM 25



Rysunek 111. System podciśnieniowy DVP-F z mikroprocesorowym regulatorem podciśnienia

Rysunek 112. Jednostka końcowa SR

Przedstawiona instalacja podciśnieniowa stanowiska naukowo-badawczego stanowi nowoczesne rozwiązanie techniczne, zapewniające stabilizację podciśnienia przy minimalnym poborze energii i ograniczeniu emisji hałasu. W tym celu zastosowano układ z falownikiem i regulatorem PID, sterujący wydajnością agregatu próżniowego. Uzyskana stabilizacja podciśnienia powinna pozytywnie wpłynąć na zdrowotność wymion krów, a w efekcie wydajność mleczną stada. Prace naukowo-badawcze prowadzone na tym stanowisku będą zmierzać w kierunku automatycznego sterowania parametrami doju z uwzględnieniem cech osobniczych krów w aspekcie oddawania mleka, biorąc za podstawę naturalny proces doju.

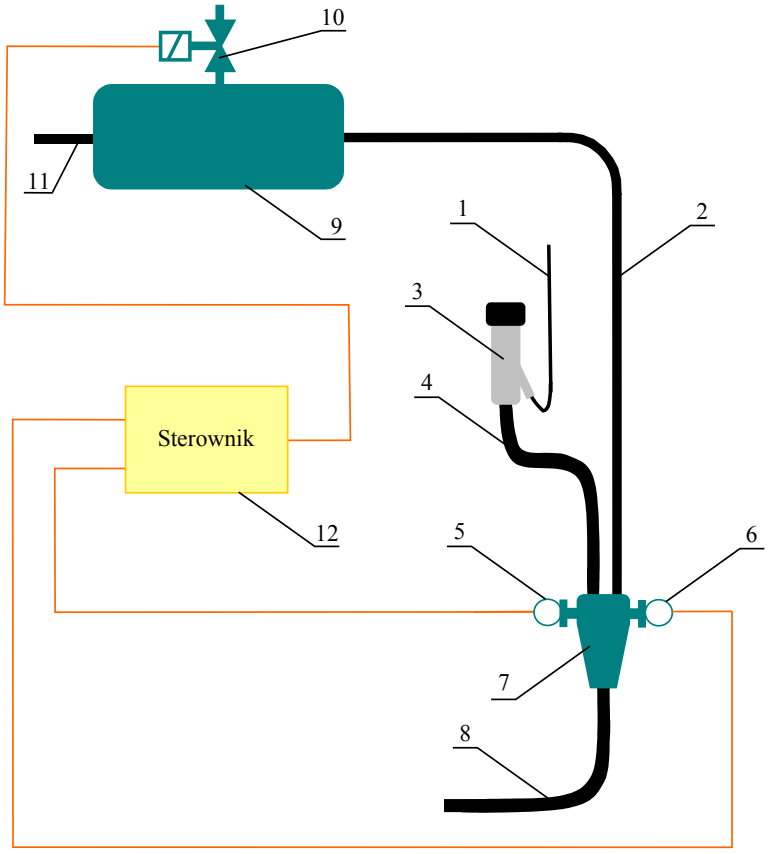
7. MODELOWANIE I SYMULACJA KOMPUTEROWA W PROJEKTOWANIU AUTONOMICZNEGO APARATU UDOJOWEGO DLA KRÓW (AAU)

Analizując stan techniki na rynku produkcji urządzeń udojowych, można stwierdzić, iż dotychczasowe działania wiodących firm tej branży ukierunkowane były na zapewnienie hodowcom zmniejszenia nakładów pracy podczas obsługi procesu doju. W mniejszym stopniu kładziono nacisk na zbliżenie parametrów doju do cech osobniczych krów czy stabilizację ciśnienia, które jest podstawowym parametrem wpływającym na przebieg doju. Automatyczne sterowanie aparatem udojowym dla krów powinno zapewnić możliwość zbliżenia parametrów doju maszynowego do cech osobniczych krów. Uważa się, że optymalnym rozwiązaniem konstrukcji takiego aparatu byłoby automatycznie sterowane ciśnienie bezwzględne w funkcji wypływu mleka, mierzonego niezależnie dla każdej ćwiartki wymienia krowy. Stąd w Katedrze Energetyki i Automatyzacji Procesów Rolniczych Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie podjęto prace badawcze nad zaprojektowaniem i skonstruowaniem autonomicznego aparatu udojowego (AAU), przeznaczonego do współpracy z robotem udojowym. Zadaniem jego będzie indywidualny dój każdej ćwiartki wymienia z rozdzielnymi ciśnieniami: ssącym i transportującym. Założono, że wartość ciśnienia ssącego będzie ściśle związana z natężeniem strumienia mleka wypływającego ze strzyka krowy.

7.1. Opis konstrukcji AAU

Pierwszym etapem prac było opracowanie założeń do projektu, które ilustruje schemat przedstawiony na rysunku 113.

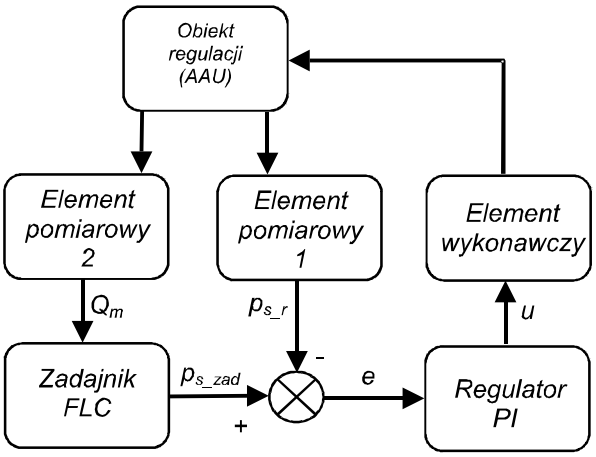
Istota przedstawionego rozwiązania polega na indywidualnym doju każdej ćwiartki wymienia krowy i na rozdzieleniu ciśnień ssącego od transportowego. Podstawowymi elementami rozwiązania przedstawionego na schemacie są cztery niezależne, dwukomorowe kolektory specjalnej konstrukcji. Aby utrzymać stabilne podciśnienie w instalacji pneumatycznej, założono umiejscowienie zbiornika akumulacyjnego na wejściu pompy próżniowej. Według przedstawionej koncepcji sterowanie ciśnieniem ssącym miałoby się odbywać poprzez otwarcie zaworu (10) i wprowadzenie w ten sposób filtrowanego powietrza atmosferycznego do zbiornika (9). Do tego zbiornika dostarczane jest przewodem (11) z instalacji podciśnieniowej, generowane przez pompę próżniową, ciśnienie bezwzględne o niskiej wartości.



Rysunek 113. Schemat pojedynczej kolumny autonomicznego aparatu udojowego: 1 – przewód pulsacyjny, 2 – przewód ciśnienia bezwzględnego ssącego, 3 – kubek udojowy, 4 – krótki przewód mleczny, 5 – czujniki pomiaru natężenia przepływu mleka, 6 – czujnik pomiaru ciśnienia bezwzględnego ssącego, 7 – kolektor autonomicznego aparatu udojowego, 8 – przewód mleczny – ciśnienie bezwzględne transportowe, 9 – zbiornik sterujący ciśnieniem ssącym, 10 – zawór elektromagnetyczny, 11 – ciśnieniowy przewód instalacyjny, 12 – sterownik

7.2. Model matematyczny układu regulacji automatycznej dla kolumny AAU

Założono, że do sterowania wartością ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym zostanie wykorzystany układ regulacji automatycznej z programowanym zadajnikiem, obliczającym wartość zadaną ciśnienia ssącego na podstawie wypływu mleka ze strzyka krowy (rys. 114).



Rysunek 114. Schemat blokowy układu regulacji automatycznej ciśnienia ssącego

Działanie układu regulacji automatycznej, przedstawionego na schemacie blokowym, jest następujące: element pomiarowy 2 przekazuje sygnał zawierający informacje o natężeniu strumienia masowego mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_m. Na tej podstawie model lingwistyczny typu Mamdaniego *FLC*, pełniący rolę zadajnika, oblicza wartość zadaną ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym p_{s_zad}. Sygnał wartości zadanej trafia następnie na wejście węzła sumującego, gdzie jego wartość zostaje porównana z sygnałem zawierającym informację z elementu pomiarowego 1, o wartości regulowanej ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym p_{s_r}. Różnica obliczona w węźle sumującym to błąd regulacji *e*. Reprezentujący go sygnał jest wprowadzany na wejście regulatora *PI*, który oblicza oddziaływanie zwrotne na obiekt regulacji *u* realizowane przez element wykonawczy – elektrozawór (Lis i in., 2007; Tadeusiewicz i in., 2004).

7.2.1. Model matematyczny obiektu regulacji AAU

Właściwie skonfigurowany układ sterownia jest niezbędnym elementem warunkującym poprawne funkcjonowanie systemu technicznego. Aby zminimalizować nakłady pracy i koszty związane z konfiguracją układu sterownia, konieczne jest przeprowadzenie etapu prototypowania. Klasyczne podejście do zagadnienia przewiduje wykorzystanie prototypu w postaci obiektu rzeczywistego lub modelu fizycznego tego obiektu. Wiąże się to z poniesieniem znacznych kosztów i wydłużeniem czasu potrzebnego na oddanie do użytku kompletnego i w pełni funkcjonalnego systemu technicznego. Alternatywą dla klasycznego prototypowania jest wykorzystanie prototypu wirtualnego w postaci modelu matematycznego zapisanego w formie kodu wykonywalnego, wprowadzonego do pamięci komputera lub karty prototypowej. Prototyp wirtualny musi odtwarzać pełny zakres funkcjonalny odwzorowywanego systemu technicznego (Mrozek i Mrozek, 2004; Tarnowski, 2004). Warunki dla opracowania wirtualnego prototypu zapewnia środowiska MATLAB – Simulink.

MATLAB jest produktem firmy The Mathworks Inc. z USA. Stanowi wydajne, uniwersalne i przyjazne środowisko programowania wysokiego poziomu, integrujące algorytmy matematyczne i liczne moduły rozszerzeń. Podstawowe algorytmy numeryczne, operacje na macierzach i wielomianach, metody interpolacji i aproksymacji, transformacje Fouriera, algorytmy całkowania równań różniczkowych i wiele innych, są realizowane przez ponad 500 funkcji tego środowiska. Pakiet zapewnia narzędzia do wizualizacji danych i wyników obliczeń w postaci wykresów i grafiki trójwymiarowej, dzięki temu umożliwia sprawne rozwiązywanie różnorodnych problemów naukowo-technicznych. MATLAB jest środowiskiem otwartym, pozwalającym na wykorzystanie oprogramowania istniejącego, jak i również tworzenie oprogramowania własnego. Ważnym modułem MATLAB-a jest zbudowany na jego bazie Simulink. Jest to interaktywny pakiet do modelowania i symulacji ciągłych oraz dyskretnych modeli dynamicznych, który umożliwia tworzenie wielopoziomowych systemów w postaci schematów blokowych. Simulink zapewnia m.in. narzędzia do prototypowania w czasie rzeczywistym (Mrozek i Mrozek, 2004).

Przy wykorzystaniu środowiska MATLAB-Simulink opracowano prototyp, tj. model matematyczny, opisujący zależności zilustrowane schematem na rysunku 114. Model ten przedstawiono na rysunku 115.

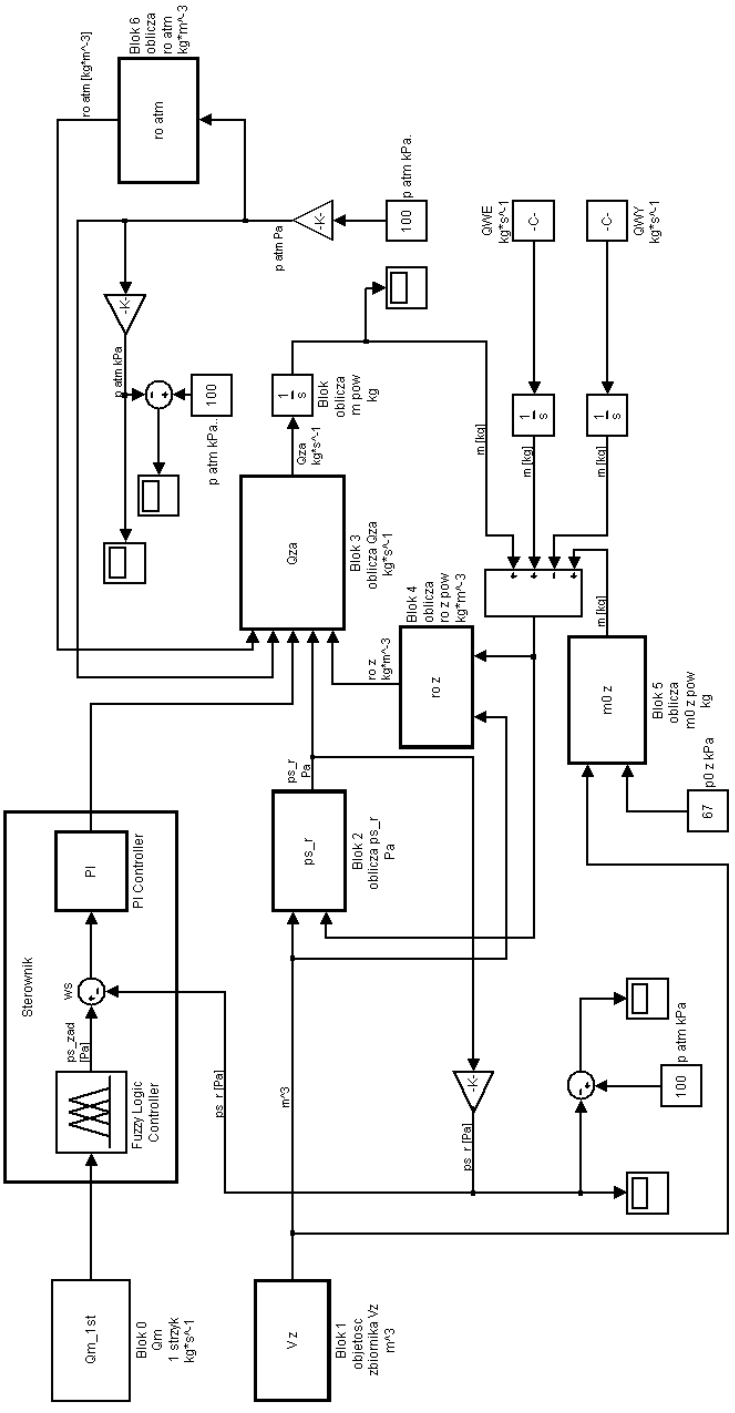
Model tworzą zależności matematyczne zapisane w postaci blokowej. Zawiera on następujące bloki funkcjonalne: regulatora *PI*, rozmytego zadajnika wartości zadanej *Fuzzy Logic Controller*, *ws* – węzła sumującego, wypracowującego uchyb regulacji, Q_{m_1st} – generującego wartość strumienia masowego cieczy reprezentującej mleko wypływające ze strzyka krowy ($kg \cdot s^{-1}$), V_z – reprezentującego objętość zbiornika akumulacyjnego (m^3), p_{s_r} – obliczającego ciśnienie ssące regulowane powietrza (w zbiorniku akumulacyjnym) (kPa), Q_{za} – obliczającego strumień masowy powietrza przepływającego przez zawór ($kg \cdot s^{-1}$), Q_{WE} – oznaczającego strumień masowy powietrza na wejściu do zbiornika akumulacyjnego ($kg \cdot s^{-1}$), Q_{WY} – reprezentującego strumień masowy powietrza na wyjściu ze zbiornika akumulacyjnego ($kg \cdot s^{-1}$), ro_z – obliczającego gęstość powietrza w zbiorniku akumulacyjnym ($kg \cdot m^{-3}$), m_{0z} – obliczającego masę początkową powietrza w zbiorniku akumulacyjnym (kg), p_{0z} – reprezentującego ciśnienie początkowe w zbiorniku akumulacyjnym (kPa), p_{atm} – reprezentującego ciśnienie powietrza atmosferycznego (kPa), ro_{atm} – obliczającego gęstość powietrza atmosferycznego ($kg \cdot m^{-3}$), typu *scope* – wizualizujących przebiegi zmiennych.

Dla potrzeb modelowania przyjęto następujące założenia: powietrze jest gazem doskonałym, oddziaływanie otoczenia nie zmienia się (stała temperatura – 20 ºC i ciśnienie atmosferyczne – 100 kPa).

Zależności opisujące obiekt regulacji (AAU) zamodelowano w następujący sposób. Różnica strumieni masowych powietrza wpływającego i wypływającego ze zbiornika akumulacyjnego przy zamkniętym zaworze równa jest 0 (6).

$$Q_{WE} - Q_{WY} = 0 \tag{6}$$

Dla wariantu z otwartym zaworem różnica pomiędzy sumą strumieni masowych powietrza wpływającego przez wejście do zbiornika i przez zawór a strumieniem powietrza wypływającego ze zbiornika równa jest także 0 (7).



Rysunek 115. Model matematyczny układu regulacji automatycznej ciśnienia ssącego

$$Q_{WE} + Q_{za} - Q_{WY} = 0 \tag{7}$$

Przebieg zmian bezwzględnego ciśnienia ssącego regulowanego (w zbiorniku akumulacyjnym) obliczono, korzystając z równania stanu gazu doskonałego (blok p_{s_r} przedstawiony na rys. 115), wykorzystując zależność (8):

$$p_{s_r} = \frac{R \cdot T \cdot m_z}{V_z} \tag{8}$$

gdzie:

P_{s_r} – bezwzględne ciśnienie ssące regulowane powietrza (w zbiorniku akumulacyjnym), (Pa);
m_z – masa powietrza w zbiorniku akumulacyjnym, (kg);
V_z – objętość zbiornika akumulacyjnego, (m^3);
R – indywidualna stała gazowa, ($J \cdot (kg \cdot K)^{-1}$);
T – temperatura, (K).

Dla obliczenia strumienia masowego powietrza przepływającego przez zawór przyjęto założenie, polegające na zastąpieniu zaworu dyszą o zmieniającej się średnicy (otwarcie i zamknięcie zaworu). W sytuacji, kiedy różnice ciśnień są niewielkie, występują podkrytyczne warunki przepływu powietrza, jego strumień masowy można obliczyć z zależności opisującej przepływ przez dyszę Bendemana. Stąd modelowanie obejmujące problematykę natężenia strumienia powietrza przepływającego przez zawór oparto o zależność, opisującą masowy strumień powietrza, przepływający przez omawianą dyszę (9) (Juszka i Lis, 2006; Juszka i in., 2006; Kupczyk, 1988; Lis, 2009; Wawszczak, 1993):

$$Q_{za} = A_z \cdot \psi \cdot \sqrt{p_{s_r} \cdot \rho_z} \tag{9}$$

gdzie:

Q_{za} – natężenie strumienia powietrza przepływającego przez zawór, ($kg \cdot s^{-1}$);
A_z – pole przekroju poprzecznego strumienia powietrza przepływającego przez zawór, (m^2);
ψ – współczynnik przepływu;
P_{s_r} – bezwzględne ciśnienie ssące regulowane powietrza (w zbiorniku akumulacyjnym), (Pa);
ρ_z – chwilowa gęstość powietrza w zbiorniku akumulacyjnym, ($kg \cdot m^{-3}$).

Na schemacie zilustrowanym na rysunku 115 zależność (9) reprezentowana jest przez blok Q_{za}.

Stopień otwarcia zaworu opisywany przez pole przekroju poprzecznego strumienia powietrza A_z przepływającego przez dyszę Bendemana obliczano z zależności: (10):

$$A_z = \frac{\pi d_z^2}{4} \tag{10}$$

gdzie:
d – średnica dyszy Bendemana, (m);

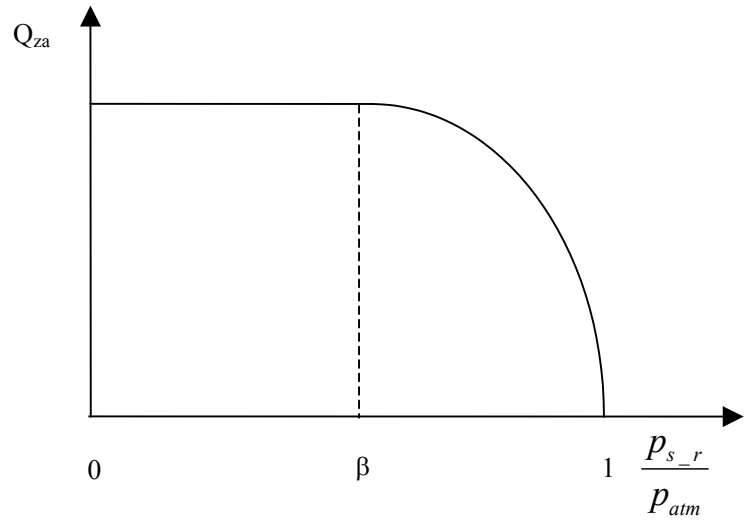
Współczynnik przepływu oraz prędkość powietrza przepływającego przez zawór dla kierunku otoczenie – zbiornik akumulacyjny obliczono korzystając ze wzoru (11):

$$\psi = \sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{\kappa - 1} \cdot \left[\left(\frac{p_{s_r}}{p_{atm}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{s_r}}{p_{atm}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \tag{11}$$

gdzie:

ψ – współczynnik przepływu;
P_{s_r} – bezwzględne ciśnienie ssące regulowane powietrza (w zbiorniku akumulacyjnym), (Pa);
P_{atm} – bezwzględne ciśnienie powietrza atmosferycznego, (Pa);
K – wykładnik adiabaty.

Należy podkreślić, że obliczenie przy wykorzystaniu powyższych wzorów strumienia masy powietrza przepływającego przez dyszę Bendemanna ma uzasadnienie, gdy $\frac{p_{s_r}}{p_{atm}} \geq \beta$, gdzie $\beta = \left(\frac{2}{\kappa - 1} \right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}}$, to wielkość charakteryzująca dany gaz (rys. 116).



Rysunek 116. Natężenie przepływu gazu przez dyszę Bendemanna

Jeżeli $\frac{p_{s_r}}{p_{atm}} < 0$ to znaczy, że wystąpił przepływ powietrza o kierunku przeciwnym, tj. ze zbiornika do otoczenia.

Kolejną wartością konieczną do obliczenia była chwilowa gęstość powietrza w zbiorniku akumulacyjnym. Obliczono ją przy wykorzystaniu bloku ro_z (rys. 115), korzystając z zależności (12):

$$\rho_z = \frac{m_z}{V_z} \tag{12}$$

gdzie:

ρ_z – chwilowa gęstość powietrza w zbiorniku akumulacyjnym, (kg·m^{-3});
m_z – masa powietrza w zbiorniku akumulacyjnym, (kg);
V_z – objętość zbiornika akumulacyjnego, (m^3).

Początkową masę powietrza w zbiorniku akumulacyjnym reprezentował blok m_{0z} (rys. 115). Jej wartość obliczono z zależności (13):

$$m_{0z} = \frac{p_{0_z} V_z}{RT} \tag{13}$$

gdzie:

m_{0z} – masa początkowa powietrza w zbiorniku akumulacyjnym, (kg);
P_{0_z} – wartość początkowa regulowanego bezwzględnego ciśnienia ssącego powietrza (w zbiorniku akumulacyjnym), (Pa);
V_z – objętość zbiornika akumulacyjnego, (m^3);
R – indywidualna stała gazowa, (J·(kg·K)$^{-1}$);
T – temperatura, (K).

7.2.2. Model matematyczny modułów sterujących

Obok zależności opisujących obiekt regulacji konieczne było wprowadzenie do modelu matematycznego elementów reprezentujących układ regulacji, tj. zadajnika wartości zadanej *FLC* i regulatora *PI*.

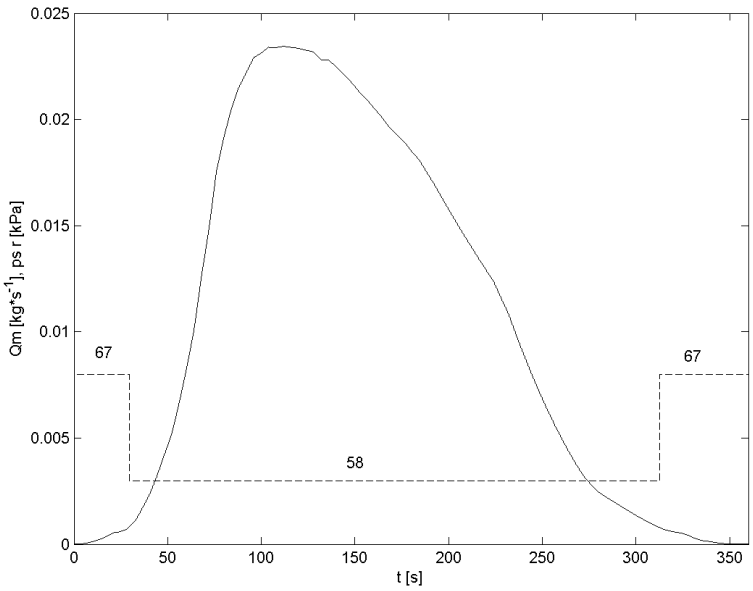
7.2.2.1. Zadajnik

Rolę zadajnika pełnił model lingwistyczny typu Mamdaniego *FLC*. Metody zaliczane do sztucznej inteligencji, do których należy wymieniony model, z powodzeniem są wykorzystywane w inżynierii rolniczej. Sieci probabilistyczne – bayesowskie (ang. bayesian networks), stosuje się do opisu produkcji rolniczej i zarządzania łańcuchami produkcji żywności (Kusz i Marciniak, 2006). Dzięki wykorzystaniu technologii sieci bayesowskich możliwe stało się m. in. zbudowanie modelu niezawodnościowego linii technologicznej do produkcji mleka (Bartnik i in., 2006). Zastosowany do modelowania model Mamdaniego jest obok modelu Takagi-Sugeno najczęściej używanym narzędziem tego rodzaju. Jego działanie jest oparte na wnioskowaniu rozmytym, czyli wyciąganiu wniosków o wartościach zmiennej wyjściowej na podstawie wartości zmiennej wejściowej *wy=f(we)*, na bazie stworzonych według zasad wnioskowania rozmytego relacji między tymi zmiennymi. Model składa się z trzech podstawowych modułów: *rozmywania*, *wnioskowania*

i *wyostrzania*. Pierwszy z wymienionych modułów odpowiedzialny jest za rozmywanie wielkości wejściowych. Proces ten jest realizowany poprzez odniesienie zmiennych wejściowych do wartości lingwistycznych wraz z przypisanymi im zbiorami rozmytymi. Zbiory te mogą być opisane przez szereg dostępnych funkcji przynależności. Drugi z modułów – *wnioskowanie*, realizuje w kategoriach zmiennych lingwistycznych przetwarzanie danych wejściowych na odpowiednią wartość wyjścia. Proces wnioskowania odbywa się w oparciu o bazę reguł opisujących relacje zachodzące pomiędzy zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi. W ostatnim module *wyostrzenia* wyznaczana jest wartość wynikowa (Juszka i Tomasik, 2006; Łachwa, 2001; MathWorks, 2013; Mroczek, 2006; Wachowicz, 2002).

Opracowany przy wykorzystaniu modelu Mamdaniego zadajnik obliczał wartość zadaną bezwzględnego ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym na podstawie natężenia mleka wypływającego ze strzyka krowy. Blok *Fuzzy Logic Controller*, reprezentujący zadajnik, zilustrowano na rysunku 115.

Wyznaczenie sygnału wartości zadanej, bezwzględnego ciśnienia ssącego p_{s_zad} w autonomicznym aparacie udojowym w oparciu o natężenie strumienia masowego mleka Q_m przy wykorzystaniu wnioskowania rozmytego wiązało się z koniecznością symulacji przebiegu sygnału z wyjścia elementu pomiarowego 2 (rys. 114). Sygnał ten stanowi wartość wejściową dla pełniącego rolę zadajnika modelu rozmytego. Jego przebieg, reprezentujący informację o wartości strumienia masowego natężenia mleka, generowano według danych literaturowych (Juszka i Lis, 2006). Sygnał ten oraz odpowiadającą mu pożądaną wartość zadaną ciśnienia ssącego p_{s_zad} przedstawiono na rysunku 117.



Rysunek 117. Masowy strumień natężenia mleka wypływającego ze strzyka krowy z linią wartości zadanej ciśnienia ssącego

Rysunek ten przedstawia, pożądaną z punktu widzenia sterowania procesem doju, relację pomiędzy wartością wejściową – strumieniem masowym natężenia mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_m a wielkością wyjściową – sygnałem wartości zadanej ciśnienia bezwzględnego ssącego p_{s_zad} w autonomicznym aparacie udojowym. Na wykresie można zaobserwować dwa przebiegi. Pierwszy z nich (linia ciągła) reprezentuje natężenie strumienia masowego mleka wypływającego ze strzyka krowy – sygnał elementu pomiarowego 2 (rys. 114). Drugi (linia przerywana) to przebieg sygnału wartości zadanej p_{s_zad} kształtowany w oparciu o następujące założenia: wartość ciśnienia bezwzględnego ssącego p_{s_zad} powinna zmieniać się w zależności od wartości generowanego strumienia masowego cieczy, reprezentującej w obliczeniach mleko wypływające ze strzyka krowy Q_m. Przy natężeniu wypływu cieczy $Q_m \leq 0,\ 0008\ \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ciśnienie bezwzględne ssące powinno wynosić 67 kPa, zaś przy $Q_m > 0{,}0008\ \text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ jego wartość powinna być równa 58 kPa.

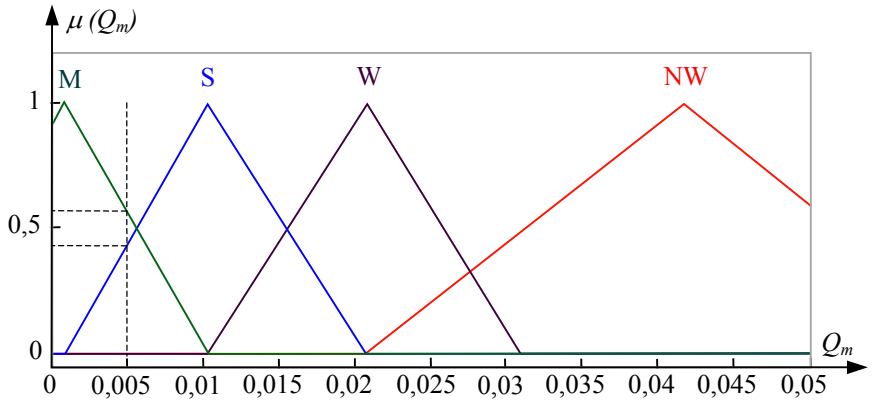
Zilustrowany przebieg pożądanej wartości zadanej ciśnienia ssącego obrazuje tylko ogólne założenia dla sterownia autonomicznym aparatem udojowym. Intencją Autorów było, aby wartość zadana nie zmieniała się tak jak na wykresie skokowo, lecz w sposób płynny, dlatego do obliczenia jej w funkcji natężenia mleka wypływającego ze strzyka krowy wykorzystano logikę rozmytą (model Mamdaniego). Pozwoliła ona kształtować wartość zadaną w sposób płynny.

Dla zobrazowania działania algorytmu matematycznego modelu lingwistycznego typu Mamdaniego, wykorzystanego do generowania sygnału wartości zadanej p_{s_zad}, poniżej przedstawiono przykład obliczeniowy dla jednej z wartości wielkości wejściowej Q_m. Przeprowadzono rozmycie tej wielkości, podczas etapu wnioskowania lingwistycznego wyznaczono odpowiadające jej wartości rozmyte wyjścia, następnie dokonano wyostrzenia wartości wyjściowych. Opisane operacje obliczeniowe zostały ujęte w trzy omówione poniżej moduły.

Moduł zadajnika – rozmywanie

W module rozmywania przeprowadzana została operacja fuzyfikacji, czyli obliczenie przynależności do poszczególnych zbiorów rozmytych wielkości wejściowej Q_m. W tym celu, bazując na posiadanej wiedzy dotyczącej procesu doju, zbiór wartości wielkości wejściowej Q_m podzielono na 4 podzbiory: małych *M*, średnich *S*, wysokich *W* i najwyższych *NW* wartości. Przebieg funkcji przynależności elementów zbioru Q_m do podzbiorów *M*, *S*, *W* i *NW* przedstawia rysunek 118.

Po podziale wielkości wejściowych na podzbiory i przyporządkowaniu ich elementom wartości funkcji przynależności, przeprowadzono rozmycie wartości wielkości wejściowej Q_m dla jej losowo wskazanego punktu – 0,005. Wymagało to poprowadzenia linii pomocniczej od wartości 0,005, prostopadle do osi odciętych (rys. 118). Od punktów przecięcia jej z liniami podzbiorów wartości małych *M* i średnich *S* poprowadzono linie pomocnicze do osi rzędnych, w celu odczytania wartości funkcji przynależności dla tych podzbiorów.



Rysunek 118. Przebieg funkcji przynależności elementów zbioru wartości wejściowych Q_m do podzbiorów

Wynosiły one odpowiednio 0,57 dla podzbioru *M* i 0,43 dla podzbioru *S*. Analizując w ten sposób przedstawiony wykres, można stwierdzić, że element zbioru zmiennej wejściowej Q_m równy 0,005 (rys. 118):

– należy do podzbioru wartości małych *M* z funkcją przynależności równą 0,57 (14):

$$\mu_{QmM}(0{,}005) = 0{,}57 \tag{14}$$

– należy do podzbioru wartości średnich *S* z funkcją przynależności równą 0,43 (15):

$$\mu_{QmS}(0{,}005) = 0{,}43 \tag{15}$$

– nie należy do podzbioru wartości wysokich *W*, w związku z tym funkcja przynależności jest równą 0 (16):

$$\mu_{QmW}(0{,}005) = 0 \tag{16}$$

– nie należy do podzbioru wartości najwyższych *NW* – funkcja przynależności jest równą 0 (17);

$$\mu_{QmNW}(0{,}005) = 0 \tag{17}$$

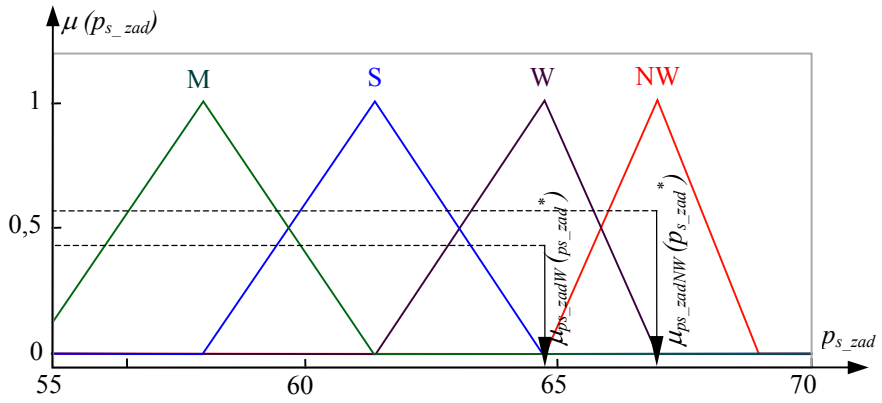
Po przeprowadzonym w ten sposób procesie kodowania lingwistycznego ostrej wartości wejścia (Q_m = 0,005) suma uzyskanych wartości funkcji przynależności elementów zbioru do podzbiorów wynosi 1 (18):

$$\mu_{QmM}(0{,}005) + \mu_{QmS}(0{,}005) + \mu_{QmW}(0{,}005) + \mu_{QmNW}(0{,}005) = 0{,}57 + 0{,}43 + 0 + 0 = 1 \tag{18}$$

Moduł zadajnika – wnioskowanie

W ramach działań przeprowadzonych w module wnioskowania lingwistycznego, zbiór wielkości wyjściowej zadanego ciśnienia ssącego p_{s_zad} podzielono na 4 podzbiory wartości: małych *M*, średnich *S*, wysokich *W* i najwyższych *NW*. Każdemu elementowi zbioru

p_{s_zad} przyporządkowano wartości funkcji przynależności tego elementu zbioru do podzbiorów (rys. 119).



Rysunek 119. Przebieg funkcji przynależności elementów zbioru wartości wyjściowych p_{s_zad} do podzbiorów

Dla wyznaczenia na podstawie rozmytych sygnałów wejściowych wartości rozmytych sygnałów wyjściowych, opracowano bazę reguł, stanowiącą reprezentację wiedzy o procesie doju. Baza reguł jest tablicą decyzyjną, zawierającą zbiór reguł rozmytych, opisujących relacje zachodzące pomiędzy zmiennymi wejściowymi i wyjściowymi. Tablica decyzyjna opisująca relacje pomiędzy natężeniem strumienia masowego mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_m a wartością zadaną bezwzględnego ciśnienia ssącego p_{s_zad} dla autonomicznego aparatu udojowego ma następującą postać:

jeżeli (natężenie strumienia masowego mleka Q_m jest małe Q_mM) **to** (wartość zadana bezwzględnego ciśnienia ssącego p_{s_zad} jest najwyższa p_{s_zad}NW)

jeżeli (natężenie strumienia masowego mleka Q_m jest średnie Q_mS) **to** (wartość zadana bezwzględnego ciśnienia ssącego p_{s_zad} jest wysoka p_{s_zad}W)

jeżeli (natężenie strumienia masowego mleka Q_m jest wysokie Q_mW) **to** (wartość zadana bezwzględnego ciśnienia ssącego p_{s_zad} jest mała p_{s_zad} zadM)

jeżeli (natężenie strumienia masowego mleka Qm jest najwyższe QmNW) **to** (wartość zadana bezwzględnego ciśnienia ssącego p_{s_zad} jest mała p_{s_zad}M)

Następnie w oparciu o zdania warunkowe powstałej bazy reguł sformułowano następujące wnioski:

– zgodnie z pierwszym zdaniem warunkowym bazy reguł można wnioskować, że dla wielkości wejściowej Q_m na poziomie 0,005, która należy do podzbioru wartości małych *M* z funkcją przynależności równą 0,57, poziom wielkości wyjściowej p_{s_zad} będzie najwyższy z zadeklarowanych *NW* z prawdopodobieństwem równym wartości funkcji przynależności – 0,57. Na tej podstawie można stwierdzić, że wartość funkcji przynależności wielkości wyjściowej p_{s_zad} do podzbioru *NW* wynosi 0,57 (19):

$$\mu_{ps_zadNW}(p^*_{s_zad}) = 0{,}57 \tag{19}$$

– na podstawie drugiego zdania warunkowego tablicy decyzyjnej można wyciągnąć wniosek, że dla wielkości wejściowej Q_m na poziomie 0,005, należącej także do podzbioru wartości średnich S z funkcją przynależności równą 0,43, wartość wielkości wyjściowej p_{s_zad} będzie wysoka W z prawdopodobieństwem równym wartości funkcji przynależności na poziomie 0,43. Można więc stwierdzić, że wartość funkcji przynależności wielkości wyjściowej p_{s_zad} do podzbioru W jest równa 0,43 (20):

$$\mu_{ps_zadW}(p^*_{s_zad}) = 0{,}43 \tag{20}$$

– z trzeciego zdania warunkowego bazy reguł wynika, że wartościom wielkości wejściowej Q_m z podzbioru W odpowiadają wartości wyjścia p_{s_zad} w podzbiorze M. Natężenie strumienia masowego mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_m równe 0,005 nie należy jednak do podzbioru wartości wysokich W, można więc wnioskować, że poszukiwana zadana wartość ciśnienia ssącego p_{s_zad} nie należy do podzbioru wartości małych M (21):

$$\mu_{ps_zadM}(p^*_{s_zad}) = 0 \tag{21}$$

– wartość Q_m na poziomie 0,005 nie należy także do podzbioru wartości najwyższych NW, a więc można wnioskować na podstawie czwartego zdania warunkowego, że poszukiwana zadana wartość ciśnienia ssącego p_{s_zad} w tym przypadku także nie należy do podzbioru wartości małych M (22):

$$\mu_{ps_zadS}(p^*_{s_zad}) = 0 \tag{22}$$

Dzięki przeprowadzonemu wnioskowaniu lingwistycznemu otrzymano rozmytą postać szukanej wartości zadanej ciśnienia bezwzględnego ssącego p_{s_zad} w autonomicznym aparacie udojowym p_{s_zad}.

Moduł zadajnika – wyostrzenie

W module wyostrzenia dla obliczenia wartości ostrej wielkości wyjściowej wykorzystano metodę wysokości (*singletonów*). Zgodnie z nią wartości funkcji przynależności elementów zbioru do danego podzbioru zmiennej wyjściowej p_{s_zad} zamienione zostały na zbiory jednoelementowe – *singletony*. Znalazły się one w miejscu, dla którego funkcja przynależności danego podzbioru przyjmuje wartość 1. Na rysunku 119 singletony oznaczono prostopadłymi do osi odciętych strzałkami. Strzałka dla podzbioru NW wskazuje punkt 66,96, a dla podzbioru W druga strzałka wskazuje punkt 64,76. Stopnie aktywacji dla omawianych singletonów wynoszą 0,57 dla pierwszego i 0,43 dla drugiego. Po zastąpieniu zbiorów rozmytych właściwymi im zbiorami jednoelementowymi obliczano wartości ostre wielkości wyjściowej p_{s_zad} przy wykorzystaniu zależności (23) (Wachowicz, 2002):

$$p^*_{s_zad} = \frac{\sum_{i=1}^{m} p_{s_zad\,i} \cdot \mu_{p_{s_zad}i^*}}{\sum_{i=1}^{m} \mu_{p_{s_zad}i^*}} \tag{23}$$

gdzie:

$p^*_{s_zad}$ – wartość zadana bezwzględnego ciśnienia ssącego powietrza w autonomicznym aparacie udojowym;

$\mu_{p_{s_zad}i^*}$ – stopień aktywacji i-tego singletonu przez daną regułę;

$p_{s_zad\,i}$ – wartość zmiennej wyjściowej w miejscu położenia i-tego singletonu;

m – liczba reguł.

Obliczona zadana wartość ciśnienia bezwzględnego ssącego p_{s_zad} w autonomicznym aparacie udojowym dla natężenia strumienia masowego mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_m równego 0,005 wynosi (24):

$$p^*_{s_zad} = \frac{66{,}96 \cdot 0{,}57 + 64{,}76 \cdot 0{,}43}{0{,}57 + 0{,}43} = 66{,}02 \tag{24}$$

7.2.2.2. Regulator

Po opracowaniu algorytmu działania zadajnika nastąpił dobór nastaw dla regulatora *PI* utrzymującego regulowaną wartość bezwzględnego ciśnienia ssącego p_{s_r} na zadanym poziomie (rys. 115). Dla regulatora dobrano następujące wartości zakresu proporcjonalności *Xp* i czasu zdwojenia *Ti*: *Xp* = 50, *Ti* = 24 s.

7.3. Badania symulacyjne

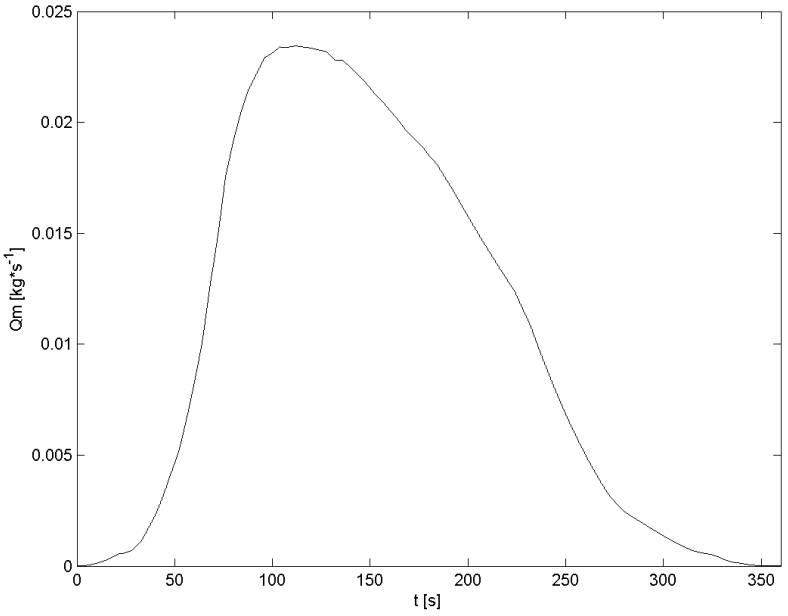
Badania symulacyjne przeprowadzono w środowisku MATLAB-Simulink. Podzielono je na dwie części, tj.: weryfikację logiczną *off-line* i sprzętową *on-line* (wykonaną na stanowisku pomiarowym według metody *Rapid Prototyping*). Weryfikacja *off-line* składała się z dwóch etapów. Pierwszy przeprowadzono przed powstaniem obiektu rzeczywistego dla walidacji przyjętych założeń projektowych. Obecnie walidacja jest ważnym etapem projektowania, rozumiana jest jako potwierdzenie przez zbadanie i dostarczenie obiektywnego dowodu, że zostały spełnione szczególne wymagania dotyczące konkretnie zamierzonego zastosowania projektu (PN-EN ISO 9000:2001). Do symulacji podczas tego etapu wykorzystano model matematyczny przedstawiony na schemacie (rys. 115). Drugi etap weryfikacji *off-line* został przeprowadzony, gdy Autorzy dysponowali już obiektem rze-

czywistym. Do symulacji wykorzystano model układu sterowania zawierający matematyczną reprezentację powstałego obiektu rzeczywistego w postaci transmitancji operatorowej, opracowanej na podstawie charakterystyki dynamicznej.

Weryfikację sprzętową *on-line* przeprowadzono przy wykorzystaniu system Real-Time Windows Target (RTWT), będącego częścią środowiska MATLAB – Simulink. Jest to narzędzie, które wymusza na systemie operacyjnym takim jak Windows działanie zgodne z wymogami stawianymi systemom czasu rzeczywistego, tj. równoczesne zachodzenie w czasie zmian w środowisku oraz obliczeń, które realizowane są na podstawie stanu tego środowiska.

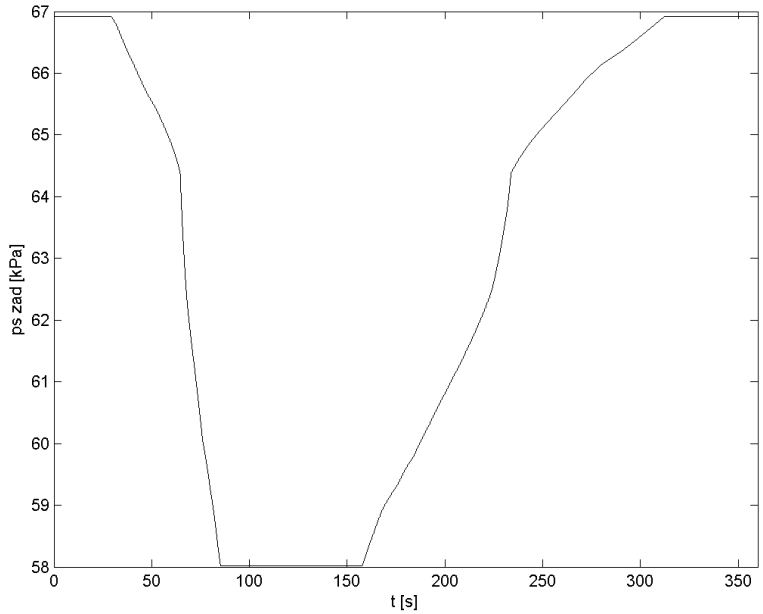
7.3.1. Weryfikacja logiczna off-line

Pierwszy etap weryfikacji logicznej *off-line* przeprowadzony według schematu przedstawionego na rysunku 115 rozpoczął się od wprowadzenia na wejście zadajnika *FLC* generowanego przebiegu natężenia strumienia masowego mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_m (rys. 120).



Rysunek 120. Masowy strumień natężenia mleka wypływającego ze strzyka krowy

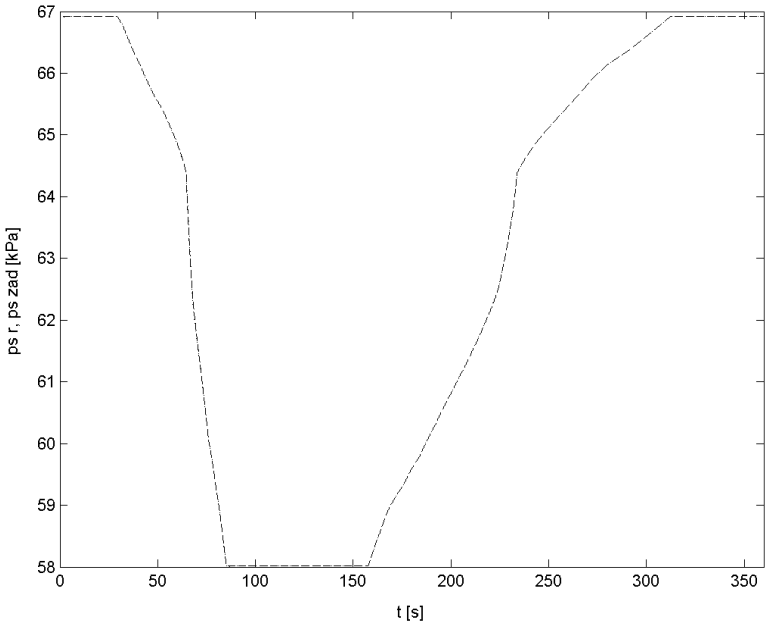
Przebieg wczytano z przestrzeni roboczej środowiska Matlab przy wykorzystaniu bloku Q_{m_1st}. Na jego podstawie w bloku zadajnika *FLC* obliczono wartość zadaną bezwzględnego ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym (rys. 121).



Rysunek 121. Sygnał wartości zadanej ciśnienia ssącego p_{s_zad}

Można zaobserwować, iż zilustrowany sygnał jest zgodny z przyjętymi założeniami reprezentowanymi przez przebieg oznaczony linią przerywaną na rysunku 117. Analizując wykres przedstawiony na rysunku 121, należy zauważyć, że na początku symulacji doju przy zilustrowanym na rysunku 120 przebiegu Q_m mniejszym od 0,0008 kg·s^{-1} sygnał wartości zadanej ciśnienia bezwzględnego ssącego p_{s_zad} zgodnie z założeniami (rys. 121) utrzymuje się na poziomie 67 kPa. Następnie po przekroczeniu 0,0008 kg·s^{-1} łagodnie opada do wartości 58 kPa. Gdy poziom strumienia masowego mleka pod koniec symulacji doju spada poniżej 0,0008 kg·s^{-1}, linia sygnału wartości zadanej ciśnienia ssącego p_{s_zad} łagodnie podnosi się do wartości – 67 kPa. Na tym poziomie utrzymuje się do końca symulacji procesu doju.

Przebieg wartości zadanej wprowadzono na wejście węzła sumującego *ws* modelu matematycznego układu sterowania, gdzie nastąpiło porównanie jej z sygnałem oddziaływania zwrotnego na obiekt regulacji, obliczonym w bloku regulatora *PI* (rys. 115). Na wyjściu bloku bezwzględnego ciśnienia ssącego, regulowanego w zbiorniku akumulacyjnym, uzyskano przebieg ciśnienia podczas doju p_{s_r}. Na rysunku 122 przedstawiono zestawienie wartości zadanej p_{s_zad} z wartością regulowaną ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym p_{s_r} obliczonego przy użyciu modelu matematycznego (rys. 115).

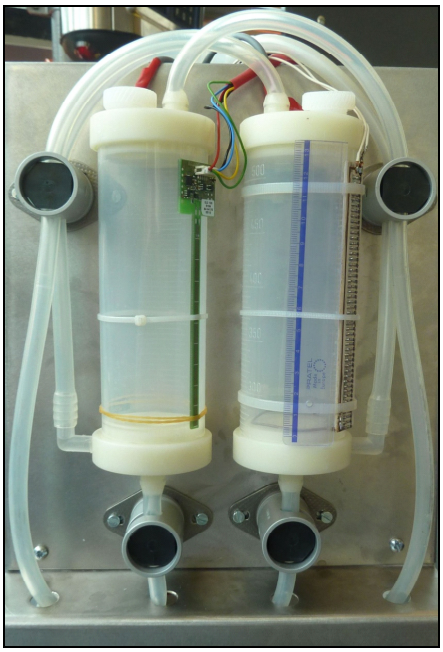


Rysunek 122. Przebiegi wartości zadanej i regulowanej ciśnienia ssącego

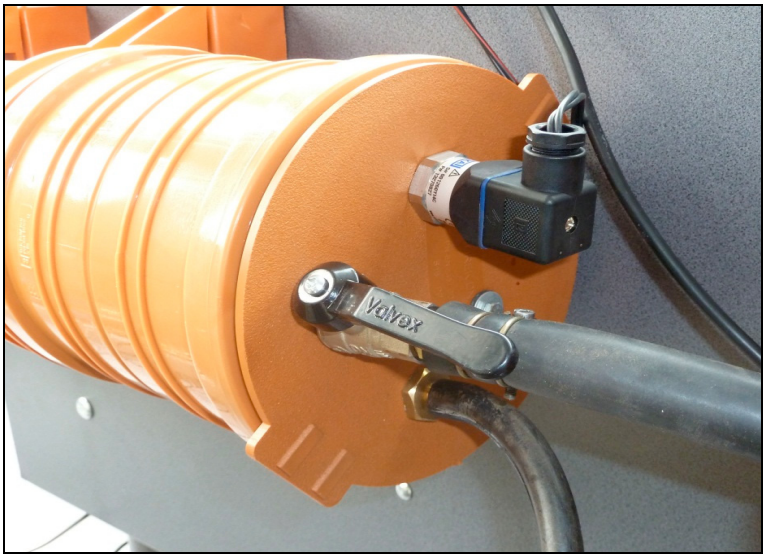
Analizując zilustrowane przebiegi można zaobserwować, że algorytm regulatora *PI* przy dobranych nastawach utrzymuje ciśnienie na zadanym poziomie. Oznacza, to że regulator poprawnie wypracował oddziaływanie zwrotne na obiekt regulacji, które polegało na obliczeniu stopnia otwarcia zaworu (10) w zbiorniku akumulacyjnym, przedstawionym na rysunku 113. Na tej podstawie uzasadnione jest stwierdzenie, iż przyjęte założenia dla układu sterowania i stabilizacji ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym są poprawne.

Po analizie wyników symulacji przystąpiono do budowy obiektu rzeczywistego, tj. autonomicznego aparatu udojowego z układem sterowania ciśnieniem ssącym. Na rysunkach 123 i 124 zilustrowano kolumnę autonomicznego aparatu udojowego oraz zbiornik akumulacyjny stanowiący istotny element układu regulacji i stabilizacji ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym.

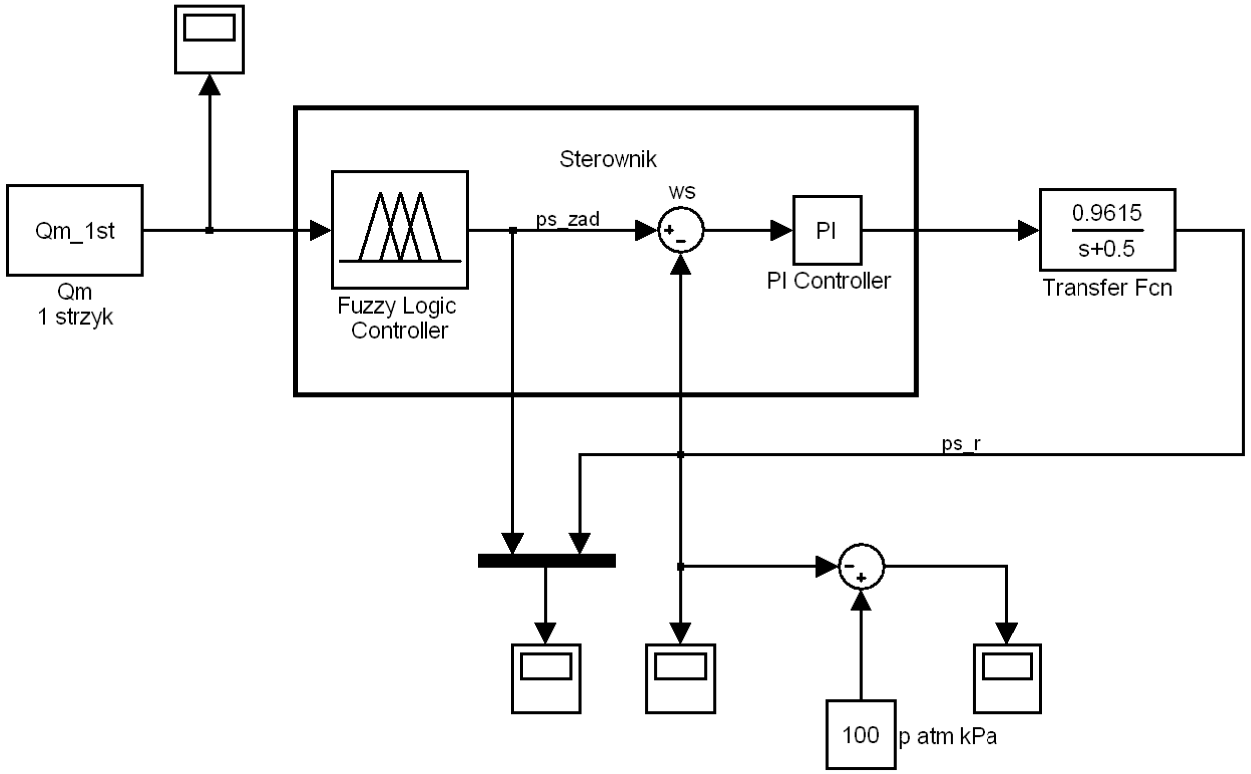
Jak już wspomniano, w drugim etapie symulacji *off-line* do modelowania wykorzystano matematyczną reprezentację powstałego obiektu rzeczywistego w postaci transmitancji operatorowej, opracowanej na podstawie charakterystyki dynamicznej. Transmitancję zapisano w bloku Simulink-a i na schemacie blokowym umieszczono w miejscu modelu matematycznego, wykorzystanego w pierwszym etapie symulacji *off-line* do walidacji założeń projektu. Nastaw zadajnika i regulatora *PI* nie zmieniono. Schemat modelu układu regulacji i stabilizacji ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym z blokiem transmitancji operatorowej zilustrowano na rysunku 125.



Rysunek 123. Kolumna autonomicznego aparatu udojowego



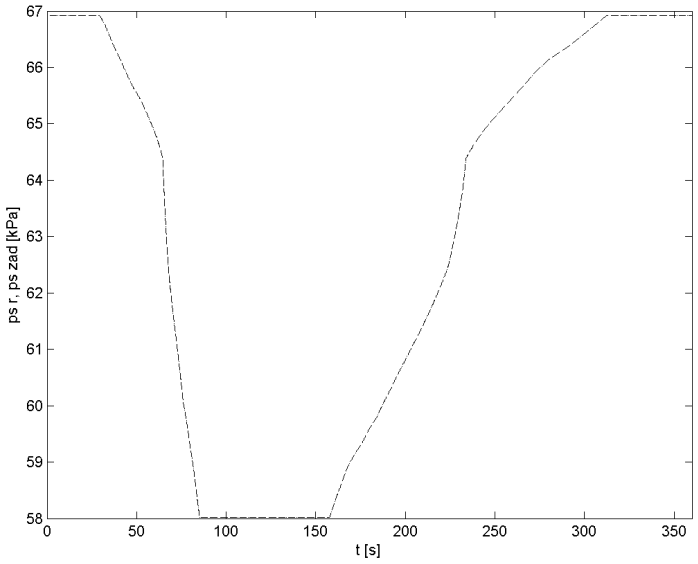
Rysunek 124. Zbiornik akumulacyjny układu regulacji i stabilizacji ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym



Rysunek 125. Schemat blokowy algorytmu sterowania w programie MATLAB-Simulink opracowany z wykorzystaniem transmitancji operatorowej

Schemat zawiera następujące podstawowe bloki:
- blok transmitancji (Transfer Fcn);
- rozmytego zadajnika wartości zadanej *FLC* (Fuzzy Logic Controller);
- regulatora *PI* (PI Controller);
- natężenia strumienia mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_{m_1st} (Qm 1 strzyk kg·s^{-1});
- typu *scope* – wizualizujące przebiegi zmiennych.

Drugi etap symulacji *off-line* przeprowadzony według schematu zilustrowanego na rysunku 125 wykazał, że założenia przyjęte dla projektu w wyniku walidacji modelem matematycznym w pierwszym etapie symulacji były poprawne. Na rysunku 126 przedstawiono zestawienie wartości zadanej z wartością ciśnienia ssącego. Obliczono je z wykorzystaniem bloku transmitancji.



Rysunek 126. Przebiegi wartości zadanej i regulowanej ciśnienia ssącego – model z blokiem transmitancji operatorowej

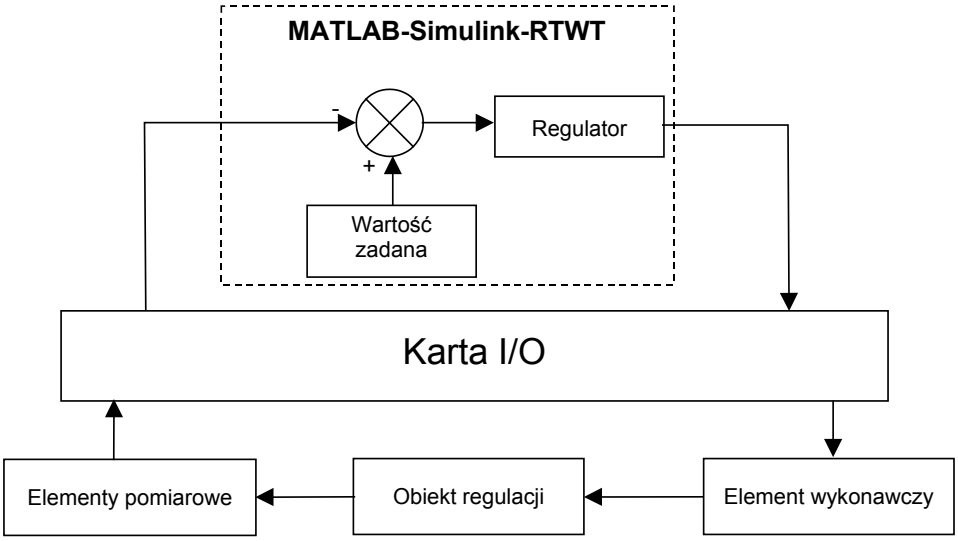
Analizując przedstawiony wykres można stwierdzić, iż zilustrowane przebiegi są analogiczne jak w przypadku modelu matematycznego użytego do walidacji założeń projektu w pierwszym etapie symulacji *ofl-line*. Daje to podstawę do stwierdzenia, iż model walidacyjny pozwolił poprawnie opisać zjawiska zachodzące w układzie sterowania i stabilizacji ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym.

7.3.2. Weryfikacja sprzętowa on-line

Kolejnym etapem opracowania wirtualnego prototypu sterowania dla układu regulacji i stabilizacji ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym p_{s_r} było przeprowadzenie symulacji sprzętowej *on-line* na stanowisku pomiarowym według metody *Rapid*

Prototyping. Symulacja według tej metody polega na włączeniu do pętli sprzężenia zwrotnego wirtualnego układu sterowania, części rzeczywistego obiektu bądź fragmentu prototypu fizycznego. Taka symulacja umożliwia testowanie systemu technicznego w warunkach zbliżonych do typowych warunków eksploatacyjnych. Ponadto ten rodzaj symulacji może ujawnić istotne błędy niewykryte podczas symulacji *off-line* (Mrozek i Mrozek, 2004). Aby prowadzić sterowanie obiektem rzeczywistym przy pomocy komputera, konieczne jest przygotowanie podsystemu sterowania w czasie rzeczywistym. Jak już wspomniano wcześniej, w pracy do tego celu wykorzystano narzędzie RTWT (Real Times Windows Target) oferowane przez środowisko MATLAB – Simulink.

Schemat ilustrujący sposób realizacji symulacji *Rapid Prototyping* przedstawiono na rysunku 127.

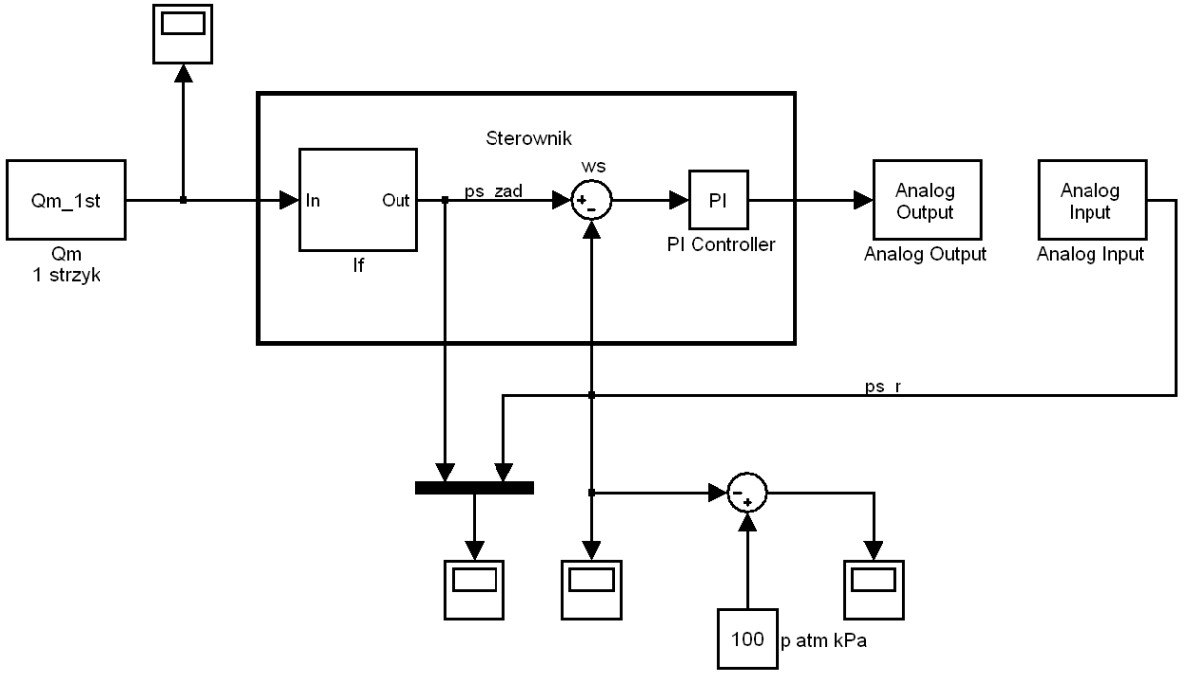


Rysunek 127. Schemat blokowy symulacji Rapid Prototyping z wirtualnym układem sterownia i z elementami rzeczywistego obiektu regulacji

Na zilustrowanym schemacie można zaobserwować wirtualny układ sterowania zrealizowany w środowisku MATLAB – Simulink – RTWT, który przy pomocy karty I/O komunikuje się z elementami, pomiarowym i wykonawczym. Wymienione komponenty reprezentują sprzężenia pomiędzy sterownikiem a obiektem sterowania.

Aby możliwe było włączenie do pętli sprzężenia zwrotnego wirtualnego układu sterowania części rzeczywistego obiektu, model przedstawiony na rysunku 115 przebudowano, usuwając model matematyczny obiektu regulacji i dodając moduły wejść/wyjść pozwalające na komunikację z otoczeniem.

Schemat po modyfikacji modelu zilustrowano na rysunku 128.



Rysunek 128. Schemat blokowy algorytmu sterowania w programie MATLAB-Simulink do pracy w trybie Rapid Prototyping

Zawiera on następujące podstawowe bloki:
- wejścia analogowego (Analog Input);
- wyjścia analogowego (Analog Output);
- instrukcji warunkowej *if* (If);
- regulatora *PI* (PI Controller);
- natężenia strumienia mleka wypływającego ze strzyka krowy Q_{m_1st} (Qm 1 strzyk);
- typu *scope* – wizualizujące przebiegi zmiennych.

Zadania realizowane przez poszczególne moduły są następujące. Przy wykorzystaniu bloku wejścia analogowego do przestrzeni roboczej programu MATLAB – Simulink – RTWT, w postaci wartości napięcia elektrycznego wprowadzony zostaje sygnał z czujnika ciśnienia. Po porównaniu w węźle sumującym wartości zadanej ze zmierzoną przez czujnik, sygnał reprezentujący różnicę wprowadzony zostaje na wejście modułu regulatora *PI*. Tam następuje obliczenie sygnału sterującego dla elementu wykonawczego – elektrozaworu proporcjonalnego. Sygnał z regulatora trafia do modułu wyjścia analogowego. Wartość zadana obliczana jest na podstawie sygnału z bloku Q_{m_1st}, który wprowadza z przestrzeni roboczej MATLAB-a generowany przebieg strumienia masowego cieczy reprezentującej mleko wypływające ze strzyka krowy. Dla potrzeb symulacji sprzętowej *on-line* konieczna była zmiana zadajnika *FLC* na zadajnik wykorzystujący instrukcję warunkową *if* do obliczenia wartości zadanej. Podyktowane to było faktem, iż środowisko MATLAB – Simulink – RTWT nie zapewnia wsparcia dla sterowania rozmytego *FLC*. Uprzednie zastosowanie zadajnika *FLC* podczas symulacji *off-line* nie było jednak pozbawione zasadności, ponieważ algorytm tego typu może być zaimplementowany w nowoczesnych sterownikach PLC.

Tak opracowany wirtualny układ sterowania wykorzystano do przeprowadzenia symulacji *Rapid Prototyping*. Powstało stanowisko do symulacji *on-line* z włączonymi elementami rzeczywistego obiektu do pętli sprzężenia zwrotnego wirtualnego układu sterowania. Bazą dla stanowiska była przygotowująca ciśnienie instalacja udojowa omówiona w rozdziale 6.10.

Stanowisko do symulacji *on-line* składało się z następujących elementów:
- komputera PC;
- wielofunkcyjnej karty I/O PCI – 1711;
- terminala zaciskowego PCLD – 8710;
- układu zabezpieczenia karty I/O;
- udojowego stanowiska naukowo-badawczego przygotowującego ciśnienie;
- czujnika ciśnienia bezwzględnego;
- proporcjonalnego zaworu elektromagnetycznego.

Element pomiarowy układu sterowania – czujnik ciśnienia poprzez terminal zaciskowy PCLD – 8710 podłączono do wejścia analogowego karty I/O PCI – 1711. Natomiast element wykonawczy układu sterowania – elektrozawór podłączono do jej wyjścia analogowego. Wyjście karty I/O zabezpieczono układem galwanicznym własnej konstrukcji.

Symulacja sprzętowa *on-line* według metody *Rapid Prototyping* przeprowadzona na stanowisku pomiarowym miała następujący przebieg. Aby sprawdzić poprawność działania wirtualnego sterownika wywołano zakłócenie poprzez skokowe zmniejszenie wartości

ciśnienia bezwzględnego w instalacji układu sterowania i stabilizacji ciśnienia w autonomicznym aparacie udojowym. Po detekcji przez czujnik odchylenia wartości ciśnienia od wartości zadanej, sterownik powodował uruchomienie elementu wykonawczego – elektrozaworu znajdującego się w zbiorniku akumulacyjnym. W trakcie symulacji nie zaobserwowano błędów działania układu sterownia. Symulacja *on–line* wykazała zatem poprawność działania wirtualnego sterowanika opracowanego w programie MATLAB – Simulink – RTWT. W tej sytuacji uzasadnione jest stwierdzenie, iż wykorzystanie wirtualnego prototypu w postaci modelu matematycznego zapisanego w formie kodu wykonywalnego do testowania układów sterowania systemów technicznych przynosi zadawalający rezultat. Przedstawiony w postaci schematu blokowego algorytm sterowania można przy wykorzystaniu narzędzi oferowanych przez ww. program zamienić w sposób automatyczny na kod języka programowania C i zaimplementować, np. w mikrokontrolerze AVR lub sterowniku PLC, uzyskując w ten sposób pełnowartościowy sterownik dla układu sterowania i stabilizacji podciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym (rys. 115).

Podsumowując, weryfikacja logiczna poprzez symulację *off–line* opracowanego w programie MATLAB – Simulink wirtualnego sterownika wykazała poprawność jego działania. Sformułowany algorytm realizowany był w sposób prawidłowy. Wirtualny sterownik obliczał właściwą wartość sygnału wyjściowego przy zadanych określonych wartościach sygnału wejściowego. Przeprowadzona walidacja projektu układu sterowania i stabilizacji ciśnienia ssącego w autonomicznym aparacie udojowym do doju krów, przy wykorzystaniu opracowanego modelu matematycznego pozwoliła na weryfikację przyjętych założeń i wskazała na zasadność realizacji projektu. Obliczona na podstawie charakterystyk dynamicznych obiektu rzeczywistego transmitancja operatorowa potwierdziła poprawność przyjętych wcześniej założeń, uzyskanych dzięki modelowi wykorzystanemu do walidacji projektu. Ponadto badania symulacyjne wskazują, iż model lingwistyczny typu Mamdaniego w układzie regulacji automatycznej może pełnić rolę zadajnika wartości ciśnienia ssącego. Na podstawie przeprowadzonych badań należy również stwierdzić, iż algorytm regulatora *PI* sterujący ciśnieniem ssącym w autonomicznym aparacie udojowym gwarantuje utrzymanie jego wartości na zadanym poziomie.

Przeprowadzona przy wykorzystaniu środowiska MATLAB – Symulink – RTWT symulacja sprzętowa *on-line* według metody *Rapid Prototyping* na przygotowanym stanowisku nie wykazała błędów działania sterownika. Przy określonym sygnale z elementu pomiarowego, którym był czujnik ciśnienia, sterownik obliczał poprawnie sygnał sterujący dla elementu wykonawczego – elektrozaworu. Był on załączany zgodnie z zadanym algorytmem. Wyniki symulacji komputerowej mogą zostać wykorzystane do doboru nastaw dla układu sterowania autonomicznym aparatem udojowym.

8. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA ROBOTÓW W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM

8.1. Uwagi ogólne

W przemyśle spożywczym konieczność wprowadzenia automatyzacji i robotyzacji najczęściej dotyczy procesu pakowania, stąd w niniejszym opracowaniu omówiono zrobotyzowane stanowiska do realizacji tego procesu.

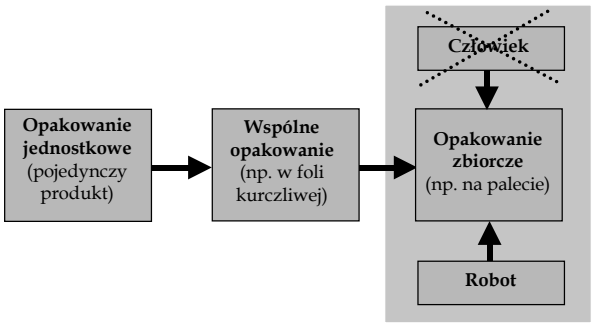
Wiele firm wiodących na rynku produkcji żywnościowej dla dotrzymania wysokich standardów jakościowych przystosowuje swoje linie produkcyjne do produkcji z minimalną ingerencją człowieka poprzez wprowadzanie automatów i robotów.

Stały wzrost wydajności produkcji pociąga za sobą konieczność zwiększania tempa pakowania produktów. Oznacza to coraz dalej idącą automatyzację i robotyzację procesów pakowania, w tym również grupowania gotowych opakowań w opakowania zbiorcze. Na metodykę projektowania zrobotyzowanych stanowisk pakowania składają się:

- identyfikacja problemów;
- rozważenie możliwości pakowania;
- określenie wymagań manipulacyjnych;
- opracowanie planu zawierającego szczegółowe zadania związane z pakowaniem obiektów, pożądane efekty procesu pakowania;
- rozważenie współpracy wszystkich systemów niezbędnych do prawidłowego przebiegu procesu.

8.2. Robotyzacja procesu pakowania

Z procesem pakowania związane są następujące operacje: dozowanie, sortowanie, buforowanie, paletyzowanie, transport i magazynowanie. Proces pakowania zilustrowano na rys. 129 (Barczyk i Jarzembski, 2004).



Rysunek 129. Proces pakowania

Na początku procesu pakowania na zautomatyzowanych stanowiskach dostosowanych do określonego wyrobu odbywa się pakowanie jednostkowe (rys. 129). Następnie pojedyncze produkty są umieszczane we wspólnym opakowaniu (np. w folii kurczliwej). Podczas kolejnego etapu procesu wyroby trafiają do

opakowań zbiorczych – na palety itp. Dawniej w większości przypadków na końcu linii automatycznego pakowania na wyjściu automatu pakującego znajdował się człowiek wykonujący bardzo ciężką pracę fizyczną. Obecnie dzięki rozwojowi techniki stało się możliwe wyeliminowanie człowieka poprzez zastąpienie go robotem przemysłowym. Typowe zadania realizowane przez roboty przemysłowe w linii pakowania są następujące:

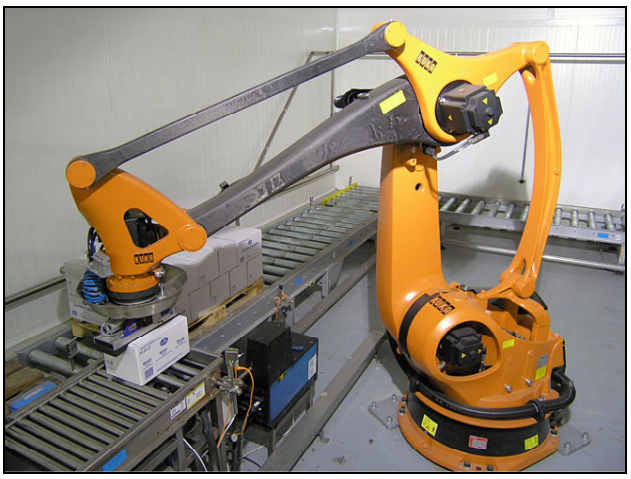
– pobranie (uchwycenie) wyrobu w położeniu początkowym;
– przetransportowanie wyrobu w opakowaniu;
– uwolnienie wyrobu w miejscu docelowym.

Pobieranie produktów z linii produkcyjnej może być realizowane: pojedynczo lub grupowo. Na wybór wyposażenia robota pakującego, zwłaszcza urządzeń chwytających, ma wpływ wiele czynników takich jak:

– wymiary i masa chwytanego obiektu;
– liczba jednocześnie przenoszonych obiektów;
– zmienność obciążeń;
– częstotliwość ruchów;
– pokonywany dystans;
– przeszkody na drodze ruchu itp.

8.2.1. Pakowanie zbiorcze

Zastosowanie robota w linii pakowania pozwala znacząco podnieść wydajność procesu. Przemysł spożywczy odznacza się dużą różnorodnością wytwarzanych produktów. Sprawności robotów na linii pakowania są zróżnicowane w zależności od gałęzi tego przemysłu. Można tu przytoczyć szereg przykładów zastosowań i wydajności pracy robotów wykorzystywanych w branży mleczarskiej np.: robot KUKA KR 100 2PA paletyzuje w ciągu godziny do 650 kartonów z masłem o masie 10 kg (rys. 130) (Manex Industrial Automation, 2013).



Rysunek 130. Robot KUKA KR 100 2PA – paletyzacja kartonów z masłem

Źródło: Manex Industrial Automation, 2013

Inny robot tej firmy – KUKA KR 150, zainstalowany w browarze w 9-sekundowym cyklu pracy w ciągu godziny załadowuje do skrzynek około 30 tys. butelek (rys. 131).

Procesy pakowania często są realizowane w chłodniach (w przemyśle spożywczym stosowane są technologie głębokiego zamrażania w temperaturze -30 °C). Przykładowo firma KUKA ma w swojej ofercie „arktyczny" typ robota przeznaczonego do pracy w niskich temperaturach – jest to przedstawiony na rysunku 132 KUKA KR 180. Natomiast firma Fanuc do pracy przy niskich temperaturach oferuje roboty serii M410iB, wyposażone w specjalny skafander, do którego doprowadzane jest podgrzane powietrze po zasygnalizowaniu przekroczenia minimalnej temperatury pracy. Na rysunku 146 przedstawiono taki typ robota w wersji podstawowej, tj. bez wspomnianego skafandra.

Rysunek 131. Robot KUKA KR 150

Źródło: KC Robotics, 2013

Rysunek 132. Robot „arktyczny" KUKA KR 180

Źródło: Kuka, 2013

8.2.2. Pakowanie jednostkowe

Przedstawione powyżej przykłady dotyczą robotyzacji procesu pakowania produktów rolno-spożywczych, znajdujących się już w opakowaniach. Odrębnym, bardziej złożonym zagadnieniem jest proces poprzedzający ten etap – pakowanie jednostkowe, tj. umieszczenie kolejnych produktów w opakowaniach. Stąd na Wydziale Inżynierii Produkcji i Ener-

getyki Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie w Laboratorium Robotyzacji Procesów Technologicznych realizowane są badania procesu pakowania i paletyzacji wybranych produktów spożywczych z wykorzystaniem robota przemysłowego firmy Fanuc – S420i F z kontrolerem R-J2.

8.3. Uwarunkowania procesów pakowania na przykładzie pomidorów i jaj

Procesowi pakowania przy wykorzystaniu chwytaka podciśnieniowego poddano pomidory i jaja jako najbardziej rozpowszechnione produkty spożywcze. Trudność robotyzacji pakowania tych produktów wynika z charakterystycznej dużej różnorodności ich cech. Podczas badań dla określenia niejednolitości cech wykorzystanych produktów analizie poddano ich kształt, wielkość i masę. Celem podjętych badań było ustalenie parametrów procesu przenoszenia pomidorów i jaj przy wykorzystaniu wybranej przyssawki. Parametrami tymi były optymalne podciśnienie robocze i warunki pobierania oraz uwalniania obiektów. Ponadto określono cechy analizowanych produktów w aspekcie badań i oceniono wpływ wybranej metody pakowania na ich stan – m.in. sprawdzono, czy nie zostały uszkodzone. W niniejszym rozdziale omówione zostaną warunki badań dotyczących kolejno pakowania pomidorów a następnie jaj.

8.3.1. Pakowanie jednostkowe pomidorów

Z punktu widzenia realizacji procesu pakowania na zrobotyzowanym stanowisku za istotne należy uznać takie cechy pomidorów, jak ich: kształt, wielkość i masa. Dla określenia wymienionych parametrów możliwe jest skorzystanie z istniejącej metodyki (podział pomidorów ze względu na kształt stosowany jest tak w handlu, jak i w botanice). W handlu ze względu na kształt pomidory dzieli się na 4 typy, tj. okrągłe, żebrowane, podłużne oraz wydłużone – „cherry" (małe okrągłe) lub koktajlowe (małe lekko wydłużone). Dla określenia kształtu pomidorów w opisie botanicznym stosowany jest z kolei tzw. współczynnik kształtu, będący stosunkiem średnicy pionowej do poziomej. Pozwala on wyróżnić 10 typów owoców, które dzielą się na: spłaszczone, lekko spłaszczone, okrągłe, prostokątne, cylindryczne, sercowate, jajowate, odwrotnie jajowate, gruszkowate i silnie gruszkowate. Wielkość i masa owoców pomidorów według ogólnie przyjętej klasyfikacji są ze sobą powiązane w następujący sposób: za pomidory bardzo małe uważa się owoce o masie poniżej 50 g, za małe te, które mieszczą się w przedziale 50–80 g, za średnie uważane są owoce o masie zawierającej się pomiędzy 80–110 g, za duże pomidory uważane są owoce o masie 110–140 g, za bardzo duże te, których masa przekracza 140 g (Borowiak, 2007; Buchter-Weisbrodt, 2009).

Obok kwestii dotyczących parametrów pakowanych pomidorów istotnym zagadnieniem dotyczącym robotyzacji procesu pakowania, które należy uwzględnić planując ten proces, są rodzaje stosowanych opakowań. Ważną cechą przy wyborze opakowania jest ochrona warzywa przed jego uszkodzeniem. Opakowania, które stosuje się dla pomidorów, to najczęściej: skrzynki kartonowe, mieszczące 6 kg pomidorów, jedno (7 kg) lub dwuwarstwowe (14 kg) skrzynki kartonowe z wytłoczkami, skrzynki plastikowe, małe pudełka

z twardej folii polietylenowej z wieczkiem mieszczące 250 g lub 500 g pomidorów oraz tacki obwijane folią, do których pakowane jest całe grono pomidorów (Jankowski, 2007; Jarczyk i Płocharski, 2010; Lisińska-Kuśnierz i Ucherek, 2003).

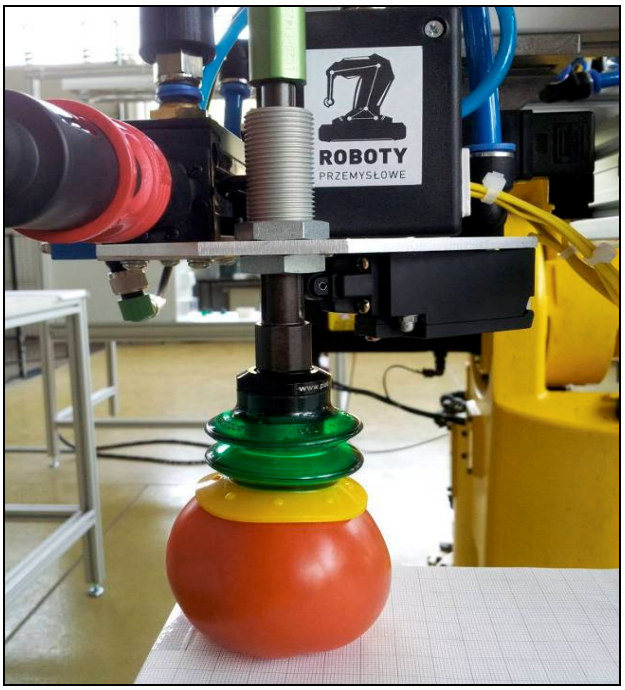
Badania zostały przeprowadzone z wykorzystaniem pomidorów odmiany Marissa F1. Określono ich kształt, wielkość i masę. Jak wyżej zauważono, cechy te mają wpływ na proces pakowania. Aby opisać kształt, wykorzystano stosowany w botanice współczynnik kształtu. W celu ustalenia wielkości pomidorów dokonano pomiaru ich objętości. Ponadto warzywa zostały zważone. Współczynnik kształtu, będący ilorazem średnicy pionowej i poziomej pomidorów wykorzystanych w badaniach, zawierał się w przedziale pomiędzy 1,05–1,21. Były to więc owoce, które według powyżej przedstawionej klasyfikacji można uznać za prostokątne. Pomiaru objętości pomidorów dokonano poprzez zanurzenie ich w wodzie destylowanej – ilość wypartej cieczy stanowiła informację o objętości warzywa. Objętość wykorzystanych w badaniach pomidorów zawierała się w przedziale pomiędzy 69,3–110,9 ml. Do ważenia warzyw wykorzystano wagę laboratoryjną.

Przyjęta do badań metodyka zakłada następujący przebieg procesu pakowania. Posortowane pomidory z podajnika pobiera robot przy pomocy przyssawki chwytaka podciśnieniowego, następnie transportuje i uwalnia je do opakowań. Pobieranie pomidorów z podajnika może być realizowane pojedynczo lub grupowo.

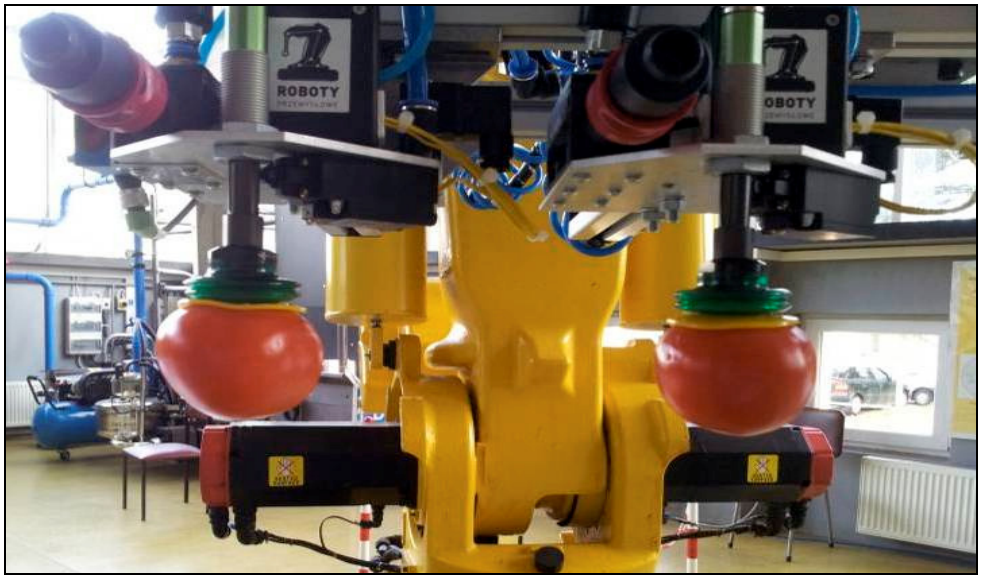
Aby sprawdzić, czy zastosowana przyssawka spełnia wymagania procesu pakowania pomidorów, podczas badań dokonano analizy jej funkcjonalności. Następnie dla przyssawki ustalono optymalne podciśnienie robocze. Funkcją celu było znalezienie takiej jego wartości, która zapewni odpowiednie przyleganie pomidora do przyssawki i jednocześnie nie spowoduje uszkodzeń w wyniku ucisku przyssawki na powierzchnię warzywa. Analizowano także, czy przy zastosowanym podciśnieniu kolejno zadawane wartości prędkość roboczej chwytaka nie spowodują odpadnięcia pomidora od przyssawki. Podczas badań zastosowano podciśnienie o wartościach 0,2 bar, 0,4 bar i 0,6 bar. Pomiaru wartości podciśnienia dokonano przy pomocy manometru Wika DG-10 (rys. 133).

Rysunek 133. Manometr Wika DG-10

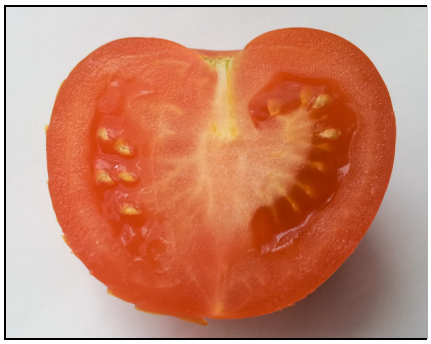
W dalszej kolejności ustalono warunki prawidłowego pobrania i uwolnienia pomidorów w czasie pakowania. Na rysunkach 134 i 135 zilustrowano etap pobrania i transportu pomidorów po doborze parametrów procesu.



Rysunek 134. Proces pakowania
pomidorów chwytakiem pneumatycznym – pobranie



Rysunek 135. Proces pakowania pomidorów
chwytakiem pneumatycznym – transport



Rysunek 136. Przekrój pomidora po przeniesieniu przy użyciu przyssawki BX 52P

Końcowym etapem przeprowadzonej analizy procesu pakowania była ocena stanu pomidorów użytych do badań. Sprawdzono, czy nie noszą śladów uszkodzeń. Na rysunku 136 przedstawiono przekrój jednego z warzyw wykorzystanych w badaniach.

Jak można zaobserwować na przykładowym przekroju pomidora, w przypadku użytych do badań warzyw nie odnotowano śladów uszkodzeń. Stanowi to uzasadnioną przesłankę do stwierdzenia, iż w toku badań właściwie zostały dobrane parametry procesu, wynikające m. in. z właściwości przyssawki, takie jak: podciśnienie robocze, warunki pobierania i uwalniania pomidorów. Przeprowadzone badania pozwoliły sformułować następujące wnioski:

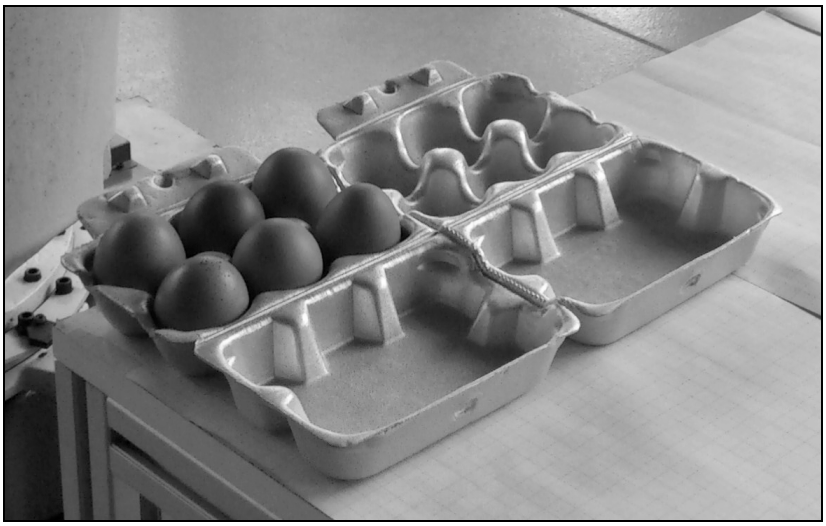
- zastosowanie chwytaka podciśnieniowego w procesie pakowania pomidorów jest zasadne;
- przyssawka BX 52P w połączeniu z kompensatorem poziomu pozwala na poprawną realizację procesu pakowania pomidorów (rys. 11);
- optymalna wartość podciśnienia roboczego, tzn. taka, która zapewni przyleganie warzywa do przyssawki i nie spowoduje jego uszkodzenia powinna wynosić 0,2 bara;
- uwalnianie pomidorów podczas pakowania powinno odbywać się na wysokości umożliwiającej ich swobodne wsunięcie się do opakowania pod wpływem siły grawitacji (Lis i in., 2012a).

8.3.2. Pakowanie jednostkowe jaj

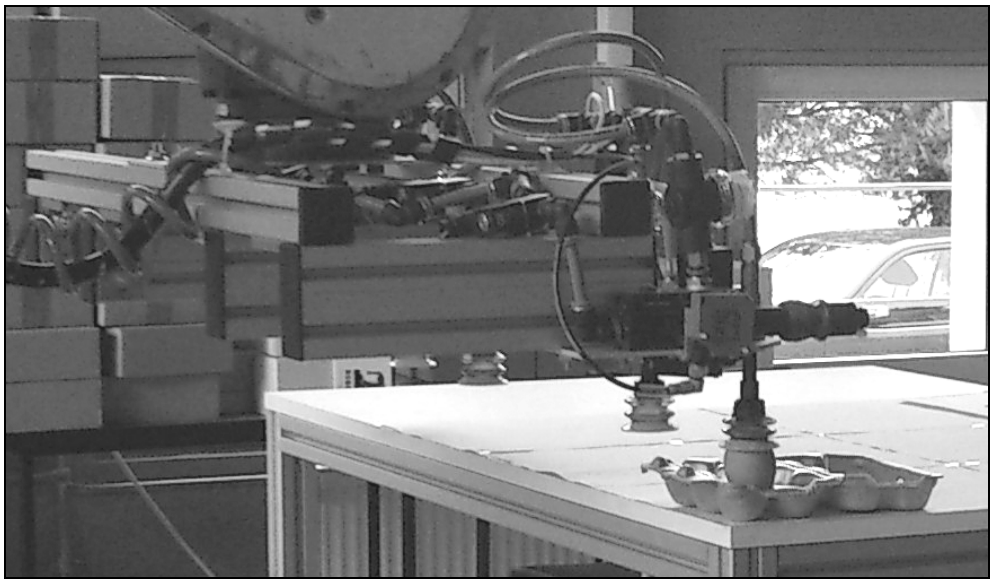
Przebieg badań dotyczących robotyzacji pakowania jaj był następujący. Materiał badawczy, na którym wykonano badania, to jaja i styropianowe wytłoczki (rys. 137).

Jaja znormalizowane są według masy w następujący sposób: XL – bardzo duże (73 g i więcej), L – duże (63–73 g), M – średnie (53–63 g) i S – małe (poniżej 53 g). Według innej klasyfikacji jaja dzieli się według rodzaju chowu – można tu wyróżnić jaja z: produkcji ekologicznej – 0, chowu na wolnym wybiegu – 1, chowu ściółkowego – 2, chowu klatkowego – 3. Do badań wybrano losowo jaja klasy L (waga 63–73 g) z chowu klatkowego.

Przyjęta do badań metodyka zakłada następujący przebieg procesu pakowania. Posortowane jaja z podajnika pobiera robot przy pomocy przyssawki chwytaka podciśnieniowego, następnie transportuje i uwalnia je do styropianowej wytłoczki. Pobieranie jaj z podajnika może być realizowane pojedynczo lub grupowo. Na rysunku 138 przedstawiono pakowanie pojedynczo pobranych jaj.



Rysunek 137. Jaja w styropianowej wytłoczce



Rysunek 138. Proces pakowania jaj chwytakiem pneumatycznym

W przebiegu badań po analizie funkcjonalności przyssawki dla procesu pakowania jaj ustalono optymalne podciśnienie robocze. Pomiaru wartości podciśnienia dokonano przy pomocy manometru Wika DG-10 (rys. 133). Następnie określona została optymalna wartość prędkości roboczej dla chwytaka. Ustalono warunki prawidłowego pobrania i uwol-

nienia jaja w czasie pakowania. W wyniku przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

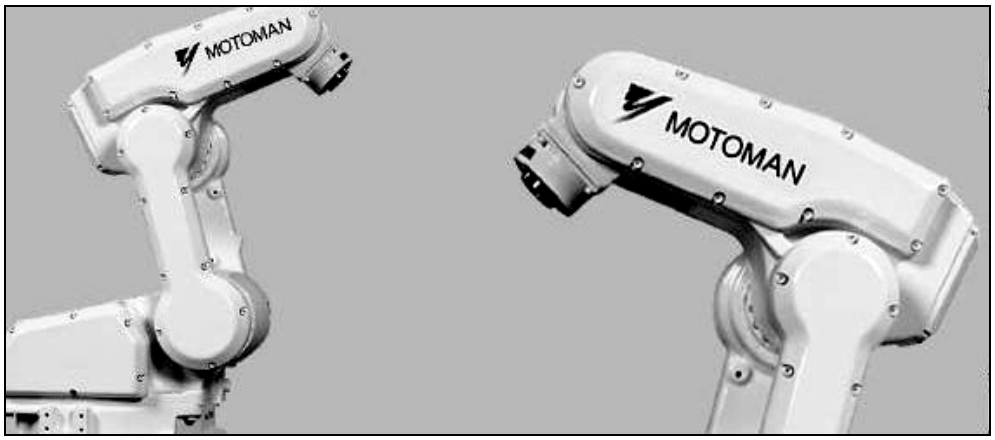
- odpowiednia dla procesu jednostkowego pakowania jaj przyssawka to BX 52P (rys. 11);
- optymalna wartość podciśnienia roboczego równa jest 0,3 bara;
- prędkość robocza chwytaka powinna wynosić $168° \cdot s^{-1}$ (80% prędkości robota);
- kompensator poziomu zapobiega uszkodzeniu jaj przez przyssawkę;
- uwalnianie jaj podczas pakowania powinno odbywać się na wysokości umożliwiającej ich swobodne wsunięcie się do zagłębienia w wytłoczce pod wpływem siły grawitacji (Lis i in., 2012b).

8.4. Inne typy robotów stosowane w pakowaniu jednostkowym i zbiorczym

Dla przedstawionych wyżej przykładów robotyzacji pakowania pomidorów i jaj, a także innych produktów spożywczych, bardziej właściwe wydaje się użycie robotów o mniejszej kompaktowej konstrukcji. Zamiarem Autorów nie była jednak analiza zastosowania konkretnego modelu robota, lecz zbadanie możliwości zastosowania chwytaka podciśnieniowego w zrobotyzowanym procesie pakowania pomidorów i jaj. Analizowane rozwiązanie techniczne, polegające na wykorzystaniu chwytaka podciśnieniowego, może być z powodzeniem zastosowane także z robotami o małym udźwigu. Znaczna część producentów w swych ofertach posiada specjalny typy robotów mogących znaleźć zastosowanie w przemyśle spożywczym, są one lekkie o kompaktowych konstrukcjach i zastępują pracujących przy linii wytwórczej operatorów. Roboty te przeznaczone są do obsługi linii technologicznych, gdzie wymagane jest szybkie zdejmowanie obiektów przemieszczających się na taśmociągu. W Japonii już w roku 1996 powstało pierwsze zrobotyzowane stanowisko bazujące na szybkim robocie Motoman SV035 zdejmującym do 100 elementów z taśmociągu w ciągu jednej minuty, współdziałającym z systemem wizyjnym śledzącym proces. Robot Motoman SV035 przedstawiono na rysunku 139 (Barczyk, 2007).

Zastosowany robot spełniał podstawowe wymagania przemysłu spożywczego, takie jak: duża szybkość działania czy też podyktowana wymogami higienicznymi zmywalność, czyli odporność mechanizmów na wodę i środki czystości. Robot wyposażony został w chwytaki podciśnieniowe i z końcówkami chwytnymi. Współpracujący z tym robotem system wizyjny zawierał kamerę CCD i oświetlenie. Dzięki systemowi wizyjnemu przy wykorzystaniu odpowiedniego oprogramowania na podstawie prowadzonej w sposób automatyczny analizy obrazu, kształtowane były sygnały sterujące przekazywane do układu wykonawczego robota. Szybkość przetwarzania informacji wizyjnych była wystarczająca, aby uzyskać prawidłowy przebieg działania robota przy prędkościach przenośnika wynoszących do 20 $m \cdot min^{-1}$ (RobotWorx, 2013).

Obecnie wśród szybkich robotów do obsługi taśmy produkcyjnej, z możliwością wykorzystania do zrobotyzowanego pakownia, zwłaszcza do użytkowania w „czystym środowisku", a więc m.in. w przemyśle rolno-spożywczym (także w farmaceutycznym i elektronicznym), wyróżnić można najszybszy robot w ofercie firmy ABB, IRB 340 FlexPicker, umożliwiający osiągnięcie cyklu trwającego 0,4 s (rys. 140) (Robotmatrix.org, 2013).



Rysunek 139. Robot Motoman SV035

Źródło: RobotWorx, 2013

Rysunek 140. Robot firmy ABB – IRB 340 FlexPicker

Źródło: Robotmatrix.org, 2013

Robot ten wykorzystywany jest m.in. do: pakowania do blistrów, sortowania czy zbierania detali z przenośnika. Charakteryzuje się konstrukcją typu delta. Jego udźwig wynosi od 1 kg do 3 kg, zasięg 1130 mm, wydajność do 150 cykli na minutę, maksymalne przyśpieszenie wynosi 150 $m \cdot s^{-2}$.

Innym przykładem tego typu rozwiązania mogącego znaleźć zastosowanie w przemyśle spożywczym jest robot M-1iA oferowany przez firmę Fanuc (rys. 141) (Robotyka.com, 2013).

Rysunek 141. Robot firmy Fanuc M-1iA

Źródło: Robotyka.com, 2013

Jest to lekki, kompaktowy robot dostępny w 2 opcjach: 4- lub 6-osiowej, o wadze odpowiednio 14 kg i 17 kg. Jego przestrzeń pracy o średnicy 280 mm jest zoptymalizowana pod kątem ochrony operatorów pracujących w pobliżu robota. Dzięki niewielkim rozmiarom (421 mm szerokości i 500 mm głębokości) M-1iA nie przekracza pola zajmowanego przez operatora, którego funkcje przejmuje przy linii produkcyjnej. Według producenta równoległa struktura kinematyczna robota pozwala na uzyskanie większych prędkości i dokładności pracy niż w przypadku konwencjonalnych ramion robotów typu SCARA. Robot charakteryzuje się następującymi parametrami: maksymalny udźwig wynosi 0,5 kg; zasięg – w płaszczyźnie pionowej 25 mm w górę i 25 mm w dół oraz w płaszczyźnie poziomej 200 mm; wydajność wynosi do 200 cykli na minutę, a powtarzalność jest równa 0,02 mm. Nadgarstek M-1iA pozwala na osiąganie prędkości rzędu $3000° \cdot s^{-1}$. Wymienny stojak umożliwia łatwą integrację robota z maszyną oraz zamontowanie go pod dowolnym kątem. Robot M-1iA może być wyposażony w kontroler R-30iA Mate lub R-30iA Mate w wersji Open Air oferujący trzy funkcje: iRVision, Robot Link i Collision Guard. Do pełnego wykorzystania iRVision konieczne jest podłączenie do kontrolera kamery. W korpusie robota znajduje się mechanizm nastawczy, pozycjonujący kamerę nad nadgarstkiem robota M-1iA (Robotyka.com, 2013).

Kolejnym przykładem szybkiego robota przeznaczonego do obsługi taśmy produkcyjnej, który może zostać wykorzystany w przemyśle spożywczym, jest robot Quickplacer hiszpańskiej firmy Fatronik (rys. 142) (ScienceDaily, 2013).

Robot jest jednym z najszybszych na rynku, osiąga przeciążenia do 15 g i może wykonywać do 200 cykli na minutę. Przeciążenia działające na elementy ruchome tego robota podczas pracy są więc 5 razy większe niż w przypadku wyścigów samochodowych formuły 1.

Robotem skonstruowanym z myślą o przeznaczeniu do szybkiej obsługi taśmy produkcyjnej jest również MPP3 firmy Motoman (rys. 143) (Pace, 2013).

Rysunek 142. Robot Quickplacer firmy Fatronik

Źródło: ScienceDaily, 2013

Rysunek 143. Robot MPP3 firmy Motoman

Źródło: Pace, 2013

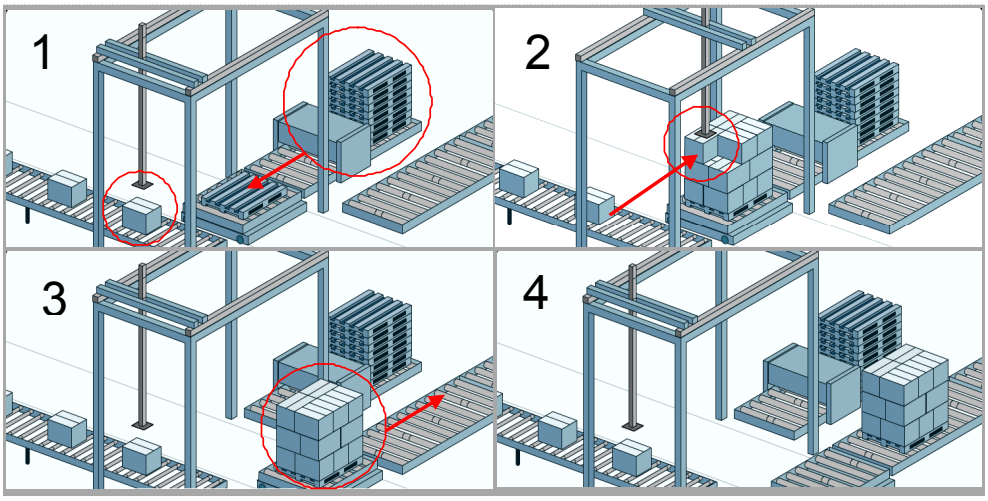
Charakteryzują go takie parametry, jak: szybkie działanie – może wykonać do 150 cykli na minutę, udźwig do 3 kg, zasięg do 500 mm, powtarzalność ± 0,1 mm, stopień ochrony – IP65. MPP3 dzięki niewielkim gabarytom nie wymaga dużej powierzchni do montażu. Robot opcjonalnie może zostać wyposażony w systemem wizyjny, śledzący taśmę produkcyjną.

8.5. Paletyzacja

Automatyzacja i robotyzacja pakowania często dotyczy stanowisk paletyzujących. Paletyzacja jest procesem, który ogólnie można zdefiniować jako: układanie opakowanych produktów na palecie według określonego wzoru.

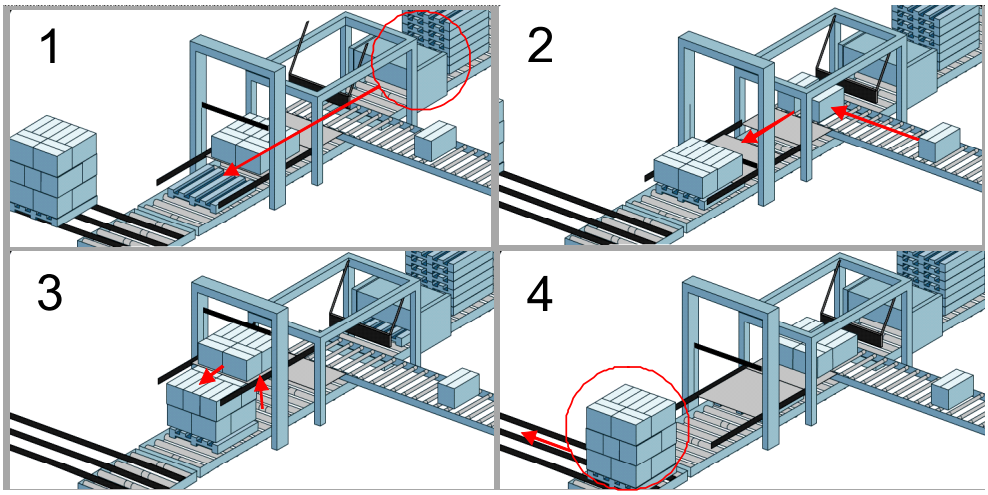
W przemyśle spożywczym paletyzacja odbywa się zwykle na standardowej europalecie, a wysokość paletyzacji nie przekracza zazwyczaj 2800 mm. Masa paletyzowanych opakowań w przemyśle spożywczym waha się pomiędzy kilka dag a 25 kg.

Wśród dostępnych na rynku systemów automatyzacji paletyzacji znajdują się zarówno duże i skomplikowane paletyzatory, jak również proste, automatyczne układy formujące. Na rysunkach 144 i 145 przedstawiono paletyzatory: portalowy i płytowy.



Rysunek 144. Paletyzator portalowy

Źródło: Protim, 2013



Rysunek 145. Paletyzator płytowy

Źródło: Protim, 2013

Przy pomocy cyfr i strzałek oznaczono na schematach kolejność przebiegu czynności związanych z paletyzacją. Przedstawione rozwiązania stają się jednak coraz mniej konkurencyjne, bowiem paletyzatory obarczone są wieloma wadami, takimi jak:

– konieczność dysponowania dużą przestrzenią;
– trudność przeprowadzenia szybkiej modyfikacji;

– wysoki koszt;
– prostsze (tańsze) układy nie spełniają wielu niezbędnych funkcji.

Ze względu na wymienione wady rozwiązaniem najbardziej ekonomicznym i elastycznym wydaje się być zastosowanie robota paletyzującego ze specjalistyczną głowicą (rys. 146).

Rysunek 146. Robot paletyzujący Fanuc Robotics typu M-410iB

Źródło: Fanuc, 2013

Robot odznacza się wieloma korzystnymi cechami przydatnymi w procesie paletyzacji. Oto niektóre z tych cech:
– specjalistyczne, indywidualnie projektowane i wykonywane uchwyty (głowice robocze);
– wysoka wydajność pracy przy dużym zakresie obciążeń (do 20 cykli na minutę przy paletyzacji paczek o masie 100 kg lub do 27 cykli w przypadku worków o masie 100 kg);
– możliwość współpracy z zewnętrznymi układami sterowania, co można wykorzystać do całkowitej automatyzacji procesu pakowania.

Na rynku robotów widoczny staje się trend polegający na zastępowaniu przez producentów, w części ich oferty dotyczącej rozwiązań paletyzujących, robotów uniwersalnych z sześcioma stopniami swobody, robotami czteroosiowymi. Podyktowane jest to specyfiką wymagań technicznych, dotyczących procesu paletyzacji. Składające się na ten proces przemieszczanie pakowanych produktów – równoległe do osi poziomej i pionowej, bez potrzeby odchylania przedmiotów o określony kąt – jest możliwe do realizacji przez robota dysponującego zaledwie czterema stopniami swobody. Inną cechą charakterystyczną dla tego rodzaju aplikacji, o której należy wspomnieć, jest duży udźwig. Zapewnienie tego wymogu jest konieczne nie tylko ze względu na masę paletyzowanych produktów, ale i ze względu na masę stosowanych specjalistycznych chwytaków. Masa chwytaków, w szczególności w rozwiązaniach paletyzujących o charakterze uniwersalnym (różne gabaryty przenoszonych przedmiotów), wynika ze skomplikowanej budowy chwytaków, którą te rozwiązania narzucają. Nie bez znaczenia w przypadku aplikacji paletyzujących są również zagadnienia związane z efektywnością, energooszczędnością oraz niezawodnością robotów. Przykładem rozwiązań robotów dedykowanych do paletyzacji są m.in. wspomniane już wcześniej Fanuc typu M-410iB czy KUKA KR 100 2PA (rys. 130, 146). Do tej grupy można również zaliczyć czteroosiowy robot paletyzujący Smart5 PAL firmy Comau Robotics (rys. 147) (Garus, 2013).

Rysunek 147. Robot Smart5 PAL firmy Comau Robotics

Źródło: Garus, 2013

Robot ten został zaprojektowany do wykonywania prac podawczych – załadunku/rozładunku. Charakteryzuje się maksymalnym udźwigiem na nadgarstku w zależności od wersji – do 180 kg lub do 260 kg, maksymalnym zasięgiem w płaszczyźnie poziomej wynoszącym do 3100 mm i powtarzalnością pozycjonowania do 0,25 mm.

Do budowy robota wykorzystano elementy konstrukcyjne z włókna węglowego. Przewody i okablowanie poprowadzono wewnątrz nadgarstka – technologia Hollow Wist. Do sterowania użyto jednostki sterującej C5G.

Proces paletyzowania dosyć często nie ogranicza się tylko do jednego stanowiska i wówczas zachodzi potrzeba zorganizowania wewnętrznego systemu transportu. Odbywa się on na dwa sposoby, a zatem stosuje się podajniki taśmowe, rolkowe itp. lub samojezdne roboty (rys. 148 i 149) (Corecon, 2013; Wikpol, 2013).

Rysunek 148. Podajnik rolkowy

Źródło: Wikpol, 2013

Rysunek 149. Robot samojezdny firmy CORECON

Źródło: Corecon, 2013

Na rysunku 149 przedstawiono robota samojezdnego firmy CORECON. Roboty tego rodzaju są jeżdżącymi platformami bardziej lub mniej wyspecjalizowanymi w transporcie danego rodzaju ładunku. Odznaczają się one następującymi cechami:

- mobilność:
  - zdalne sterowanie przez operatora;
  - istnienie ściśle wytyczonej trasy przejazdu (np. z hali produkcyjnej do magazynu, gdzie ładunek jest odstawiany na określone miejsce) – rozkazy do mikroprocesorowego układu sterowania pojazdu przekazuje centralny komputer;
- sztuczna inteligencja, umożliwiająca w przypadku zmiennych warunków otoczenia „samodzielne" podjęcie decyzji o zmianie trajektorii przejazdu;
- system wczesnego ostrzegania, który automatycznie zmniejsza prędkość pojazdu, gdy jakiś przedmiot zostanie dostrzeżony na jego ścieżce;

– zatrzymanie pojazdu w przypadku bezpośredniego kontaktu z przeszkodą wykrytą przez zderzaki;
– zastosowanie ze względów bezpieczeństwa ostrzegawczej sygnalizacji świetlnej i dźwiękowej oraz obecność na pulpicie przycisków nagłego zatrzymania.

Analizując rynek robotów przemysłowych, zaobserwować można również, że coraz częściej proces paletyzacji jest wspomagany przez specjalistyczne oprogramowanie oferowane przez poszczególnych producentów robotów. Tego typu programy odznaczają się uniwersalnością polegającą na możliwości łatwej zmiany danych dotyczących rozmiaru oraz sposobu układania opakowań, lokalizacji palet czy możliwości zastosowania przekładki pomiędzy warstwami opakowań. Można wyróżnić następujące pakiety oprogramowania wspierającego projektowanie i programowanie stanowisk do paletyzacji: ABB PickMaster 5 firmy ABB, KUKA PalletTech firmy KUKA, FANUC PalletPRO firmy Fanuc, RFA PatEdit firmy Kawasami (Czemierowski i Kukiełka, 2013).

9. AUTOMATYCZNA IDENTYFIKACJA PRODUKTÓW W ROBOTYZACJI

9.1. Uwagi ogólne

Współczesna logistyka opiera się na wymianie informacji i identyfikacji. Identyfikować można czynność, miejsce, towar. W przemyśle rolno-spożywczym istnieje konieczność śledzenia przepływu towaru od producenta, poprzez magazyny, do konsumenta. Największy zakres informacji, jak również możliwość zapisywania informacji zwrotnych posiada system FRID. Obok zakresu zapisywanej informacji, ważnym czynnikiem jest możliwość odczytania kodów, jak również szybkość ich uzyskania. Stosowane kody EAN, DATA MATRIX – wymagają bezpośredniego, indywidualnego kontaktu kodu z czytnikiem. Kody RFID mogą być czytane po umieszczeniu ich w polu działania anteny. Innym bardzo ważnym czynnikiem jest możliwość odczytu jednocześnie wielu kodów (TAG).

W przypadku wprowadzenia automatyzacji a docelowo robotyzacji, na odcinku producent-magazyn-konsument konieczne jest nadawanie kodów:
- miejscu (magazyn-załadunek);
- czynności (rozładunek);
- produktowi (towar).

Organizacją zajmująca się unifikacją kodów i rozwojem autoidentyfikacji jest GS1 – EPC Global. Organizacja zajmuje się: kodami kreskowymi, elektroniczną wymianą danych, synchronizacją danych, technologią RFID itp. Łańcuch logistyczny w przemyśle rolno-spożywczym to droga od producenta do konsumenta. Unifikacja kodów daje możliwości: elektronicznej wymiany danych (np. zamówienia), śledzenia partii towaru, automatyzacji dokumentacji, automatyzacji i robotyzacji procesów magazynowych, logistycznych, detalicznych (stanowisko kasowe) itp. Dla prac magazynowych istnieje konieczność identyfikacji zarówno za pomocą czytnika EAN (kody kreskowe), jak również anteny RFID (TAG). Dzięki automatyzacji i robotyzacji przyjęcie towaru na magazyn może odbywać się bezzałogowo.

Jednymi z podstawowych zadań produkcyjnych, stosowanych w przemyśle rolno-spożywczym, są paletyzacja i pakowanie. Są to procesy końcowe linii produkcyjnych i na tym odcinku wykorzystywane są roboty ze względu na powtarzalność prac, ciężar przenoszonych elementów, a także identyfikację. Ponadto do zalet zrobotyzowanej paletyzacji można zaliczyć zwiększenie ilości przenoszonych towarów w jednostce czasu, zmniejszenie uciążliwości dla człowieka, możliwość pracy w trudnych warunkach. Zrobotyzowany system paletyzacji odznacza się tym, iż robot wyposażony w głowice manipulacyjną podejmuje z jednego lub kilku odcinków linii produkcyjnych towary w kartonach, workach lub zgrzewkach foliowych i odstawia je według zaprogramowanej sekwencji na paletach. W zależności od konfiguracji stanowiska robot może również podejmować palety, a także

obsługiwać magazyn przekładek. Stanowisko może obejmować czynność podstawową, w której robot zastępuje wyłącznie ludzi przenoszących towar na paletę. Jednak w przypadku pełniej robotyzacji produktem końcowym mogą być zabezpieczone folią palety. Zatem w zależności od technologii identyfikacji EAN lub RFID na poszczególnych etapach paletyzacji lub pakowania na towarach mogą być umieszczane kody EAN, DATA MATRIX lub TAG. Stąd podczas paletyzacji, oprócz informacji zapisywanych na TAG, istnieje możliwość oklejenia towaru etykietą EAN, co pozwoli na identyfikację towaru nie tylko za pomocą anteny RFID, lecz także za pomocą czytnika EAN. Przykładowo firma ABB opracowała oprogramowanie dla zrobotyzowanego paletyzowania. Programy PicMaster 3 i PicMaster 5 są oparte na tej samej koncepcji graficznej i strukturze. Program PicMaster 3 wykorzystuje zaawansowane techniki wizyjne. W programie tym zaimplementowano także obsługę śledzenia przenośnika, może być stosowany z dowolnym czujnikiem zewnętrznym (skanery liniowe, 3D itd.).

Robotyzacja może być także realizowana na etapie rozładunku w magazynie lub u konsumenta. Wówczas identyfikacja towarów zapewnia możliwość ich sortowania i lokalizacji w odpowiednim miejscu, a także sporządzenia dokumentacji.

Podsumowując, należy podkreślić, iż autoidentyfikacja jest nieodłącznym elementem rozwoju automatyzacji i robotyzacji wymagających stosowania zaawansowanych technik informatycznych.

9.2. Charakterystyka technologii RFID

Technologia RFID (Radio Frequency Identification) umożliwia identyfikację na odległość przy wykorzystaniu fal radiowych. Stosowana jest w automatycznej identyfikacji produktów, zbieraniu informacji o ich wielkości, lokalizacji oraz fizycznej i logicznej kontroli dostępu i in. Zatem zwiększa efektywność produkcji, transportu, dostaw magazynowych, zapewnia odpowiednie standardy produktu, gwarantuje bezpieczeństwo klienta oraz chroni jakość marki (Alien Technology, 2013). Zastosowanie tagów radiowych w przedsiębiorstwach przynosi poważne korzyści i znacznie usprawnia wszelkie procesy logistyczne. Elektroniczny kod produktu EPC (Electronic Product Code), nazywany jest radiowym kodem kreskowym lub kodem kreskowym następnej generacji, wykorzystuje technologię RFID. W tagu radiowym umieszczony jest unikatowy numer przypisany danemu towarowi, co umożliwia jednoznaczną identyfikację każdego produktu w łańcuchu dostaw i monitorowanie jego pochodzenia. Proces identyfikacji produktu składa się z następujących kroków: elektroniczny kod produktu (EPC) zostaje odczytany przez czytnik RFID i przesłany do oprogramowania, które stanowi interfejs pomiędzy czytnikiem RFID a systemem użytkownika i zarządza przepływem informacji w sieci EPC; wówczas oprogramowanie uzyskuje informacje o produkcie poprzez ONS (Online Naming Service) i przekazuje ją do systemu użytkownika (Majewski, 2006). Przykładowo EPC o długości 96 bitów pozwala na zastosowanie oddzielnych numerów dla 268 milionów firm, przy czym każda z nich może mieć 16 milionów różnych typów czy rodzajów znakowanych produktów, a każdy z nich 68 miliardów numerów seryjnych (Kleist i in., 2005).

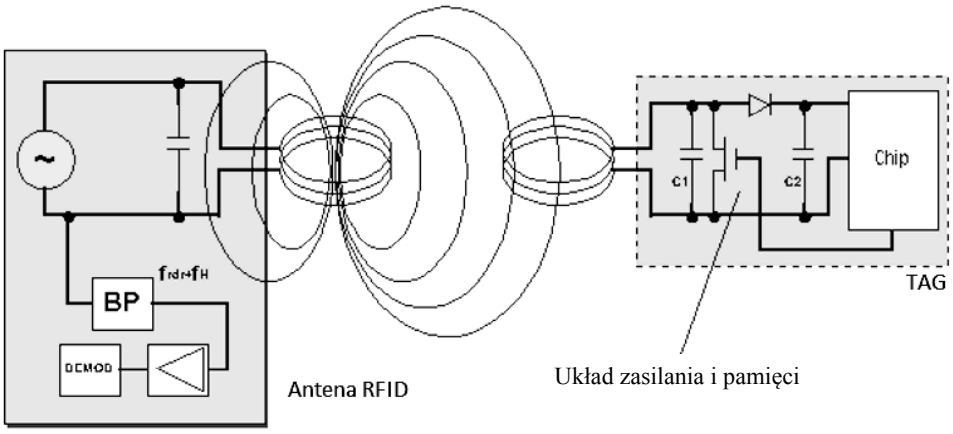
Wdrożenie technologii EPC w przedsiębiorstwie przynosi następujące korzyści:

– zmniejszenie strat spowodowanych wprowadzaniem do obrotu podrabianych produktów;

– wzrost szybkości i dokładności automatycznej identyfikacji towarów;
– zwiększenie jakości usług poprzez transport właściwych produktów we właściwym czasie, we właściwej ilości, do właściwego miejsca;
– automatyzacja inwentaryzacji;
– zapewnianie natychmiastowej identyfikacji zawartości opakowań i ładunków;
– obniżenie poziomu kradzieży zarówno przez klientów, jak i pracowników magazynowych;
– śledzenie towarów on-line.

Obecnie istnieje wiele zastosowań dla technologii RFID, bez względu na wykorzystane typy anten i nadajników, całość rozwiązania sprowadza się do możliwości zakodowania informacji w kodach zwanych TAG i pobieraniem tych informacji przez czytniki. Możliwość zapisu informacji w TAG, jak również możliwość odczytu kodu na odległość to cechy, które bardzo odróżniają ten typ identyfikacji od kodów EAN.

Schemat działania systemu RFID pokazano na rysunku 150.



Rysunek 150. Schemat działania systemu RFID

Źródło: Bieńkowski, 2011

9.2.1. Funkcje TAG

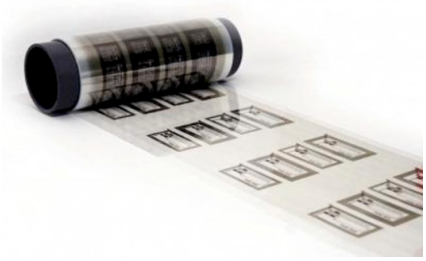
TAG w technologii RFID służy do zgromadzenia informacji, która może być zapisana, uzupełniana i odczytywana przez anteny RFID. Zatem TAG spełnia rolę nadajnika gromadzącego dane. W systemie RFID do odczytu TAG służą odbiorniki fal radiowych. Wielkość gromadzenia informacji w TAG zależy od jego pojemności i konstrukcji, zaś zakres zapisywanych informacji jest uzależniony od systemów informatycznych, które zapisują w nim informacje i je odczytują. W przypadku towarów najczęściej jest to numer identyfikujący ten towar. Przykładem zakodowanych informacji w TAG może być identyfikator produktu, numer partii, data ważności, kod osoby przyjmującej do magazynu itd. W celu zachowania zgodności z szeroko stosowanymi rozwiązaniami kodowania EAN,

stosuje się kodowanie w TAG-u cyfrowego kodu produktu. Często obok zapisanego kodu jest on również drukowany w postaci kodu graficznego, co pozwala na identyfikację za pomocą tradycyjnych czytników kodów kreskowych.

W zależności od zastosowań TAG może być zabudowany w różnych wariantach (rys. 151):

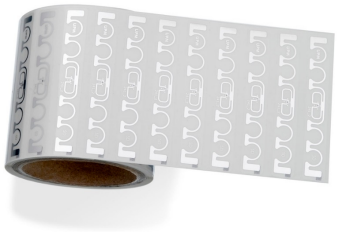
– wklejony w etykietę logistyczną;
– wtopiony w tworzywo sztuczne;
– implanty (wszczepione w skórę człowieka lub zwierzęcia);
– inne obudowane wg potrzeb.

a)



b)

c)



d)

Rysunek 151. Przykładowe konstrukcje TAG*:* a – w etykiecie logistycznej, b – naklejony na folię, c – wtopiony w tworzywo sztuczne, d – naklejka na towary

Źródło: ICT, 2013

9.2.2. Zasada działania TAG

Zasada działania aktywnych tagów radiowych opiera się na emisji sygnału. Sygnał jest wysyłany w odstępach około dziesięciosekundowych. Zwiększenie aktywnych tagów RFID wynosi około kilkadziesiąt metrów.

Pasywne tagi radiowe nie posiadają własnego źródła zasilania, ich działanie polega na odebraniu energii wyemitowanej przez antenę RFID i wykorzystaniu jej do nadania własnego sygnału. Zbudowane są z układu elektronicznego, w którym jest zapisany elektroniczny kod produktu (EPC) oraz odpowiedniej anteny. Gdy czytnik emituje falę elektromagnetyczną, jest ona odbierana przez tagi radiowe w zasięgu odczytu i zamieniana na energię elektryczną w ilości wystarczającej do wysyłania danych zapisanych w pamięci Tagu RFID. Do wad pasywnych tagów RFID zaliczamy niewielki zasięg odczytu oraz mniejszą pamięć niż w tagach aktywnych. W celu poprawienia zasięgu odczytu stworzono tzw. tagi półpasywne np., półpasywny tag RFID firmy Alien Technology charakteryzuje się zasięgiem odczytu do 30 metrów.

9.2.3. Podział TAG

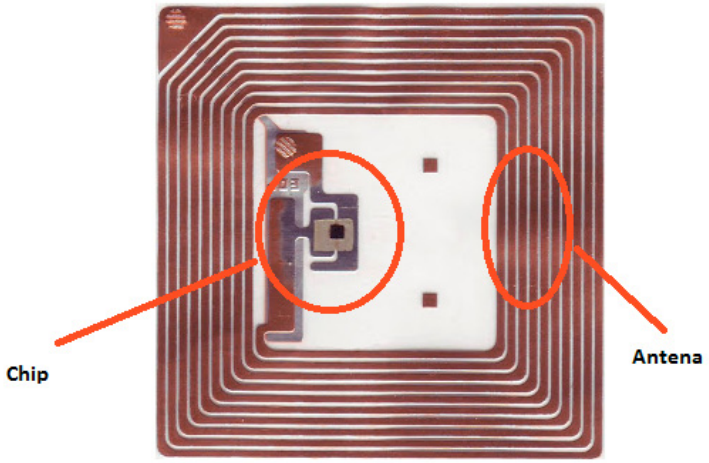
Układy RFID dzielimy ze względu na:

- źródło zasilania:
  - *aktywne*, TAG aktywny posiada własne źródło zasilania i nie potrzebuje zewnętrznego pola elektromagnetycznego do wyemitowania sygnału w kierunku odbiornika, jest niezależny od urządzenia odpytującego. Cała energia potrzebna do zasilania oraz transmisji danych czerpana jest z wewnętrznej baterii. Zwiększa to zasięg w stosunku do TAG pasywnych, jednak są droższe w produkcji i eksploatacji. TAG aktywny jest cięższy i bardziej skomplikowany pod względem budowy w stosunku do TAG pasywnego;
  - *pasywne*, TAG pasywny nie posiada własnego źródła zasilania, pobiera energię z pola elektromagnetycznego generowanego przez czytnik. W większości wypadków korzysta ze sprzężenia indukcyjnego dwóch cewek. W związku z tym TAG-i pasywne są lżejsze i tańsze niż aktywne, i charakteryzują się wielokrotnie dłuższym czasem użytkowania. Natomiast mają krótszy zasięg i wymagają czytników emitujących większą moc w celu umożliwienia poprawnego zasilania wbudowanego chipu;
- zapis danych:
  - Read/Only, identyfikatory typu R/O (Read/Only) – dane zapisane w procesie produkcji (tylko numer seryjny identyfikatora), nie ma możliwości zapisu dodatkowych danych, jak również zmiany wartości samego numeru seryjnego;
  - WORM, identyfikatory typu WORM (Write Once Read Many Times) – jednorazowy zapis danych bez możliwości zmiany numeru seryjnego;
  - Read/Write, identyfikatory typu R/W (Read/Write) – wielokrotny zapis danych bez możliwości zmiany numeru seryjnego;
- częstotliwość pracy:
  - niska, praca na częstotliwości 100-500 kHz (najczęściej wykorzystywana 125-134 kHz), krótka odległość odczytu (kilkanaście centymetrów), mała prędkość odczytu, możliwy odczyt na cieczach;
  - średnia, praca na częstotliwości 13.56 MHz, krótka odległość odczytu (od kilkunastu cm do ok. 1m), średnia prędkość odczytu, możliwy odczyt na cieczach;
  - wysoka, praca na częstotliwości 862-928 MHz, duża odległość odczytu (nawet do 13 m), duża prędkość odczytu, zmniejszone prawdopodobieństwo kolizji sygnałów, trudności w odczycie poprzez ciecze i na metalu (http://rfid-lab.pl).

Trwałość gwarantowana dla etykiet HF ISO 15693 wynosi 10 lat, a dla etykiet UHF ISO 18000-6C to 50 lat.

9.2.4. Budowa TAG

W zależności od przeznaczenia stosowane są różne technologie wykonania znaczników TAG. Ponadto w zależności od zasięgu, trwałości czy też odległości, z jakiej mogą być czytane kody, różnią się wielkością i kosztami wytworzenia. Znacznik RFID zbudowany jest z pamięci (TAG-i pamięciowe) lub z pamięci i procesora (TAG-i procesorowe) oraz z anteny pośredniczącej w transmisji danych. Całość jest umieszczona w różnych obudowach w zależności od ich przeznaczenia (rys. 152).



Rysunek 152. Budowa TAG

Źródło: Technologie RFID i EPC, 2013

Wpływ parametrów na zasięg transmisji pomiędzy TAG a anteną (Bolic, 2010):
- wykorzystywana częstotliwość;
- wielkość anteny i odległość od TAG;
- moc promieniowania;
- stopień zakłóceń sygnału.

TAG może być wyposażony w pamięć od 64 do 128 bitów. Można stosować również większe pojemności przekraczające 64 kB, lecz nie ma potrzeby zwiększania ich kosztów, jeśli w zastosowaniach logistycznych standardowa ich pojemność spełnia wymagania (Symonds, 2009).

TAG nieposiadające układów scalonych działają na zasadzie odbijania części fali radiowej, emitowanej przez antenę.

TAG aktywne posiadają wewnętrzne źródło zasilania. Dzięki temu osiągalna moc sygnału transmitowanego z identyfikatora jest większa, natomiast czas transmisji krótszy.

Identyfikatory pasywne są zasilane polem elektromagnetycznym, emitowanym przez antenę. Gdy znacznik znajdzie się w zasięgu pola anteny czytnika, w antenie TAG zostaje wzbudzony prąd elektryczny, zasilający TAG. Jednocześnie następuje przekazanie taktowania wytworzonego w czytniku. Pozwala to na wzbudzenie mikrochipu znajdującego się w TAG i przetworzenie przez niego danych wysłanych przez czytnik lub zapisanych w pamięci TAG. Wygenerowana odpowiedź zostaje wysłana z powrotem do anteny RFID.

Praktycznym rozwiązaniem w logistyce w branży FMCG są TAG-i typu smart label, które łączą cechy TAG i EAN. Podczas drukowania opisu etykiety i kodu EAN są jednocześnie kodowane.

Znaczniki TAG mogą posiadać małe rozmiary, co znacznie zwiększa zakres ich zastosowania. Nie zawsze dane, jakie są zapisane na TAG, są do odczytania przez każdy zewnętrzny system. W niektórych zastosowaniach zapisywane tam informacje są kodowane, a często przy opuszczaniu zakładu produkcyjnego (lub innego miejsca) są niszczone. Niszczenie kodów wskazane jest wszędzie tam, gdzie produkt kierowany jest do odbiorcy końcowego. Należy zaznaczyć, że przeciwnicy technologii RFID podnoszą tą kwestię jako ingerencję w prywatność (Ahson, 2008).

9.2.5. Analiza pracy odbiorników

W związku z różnymi zakresami zastosowania RFID istnieje wiele różnych konstrukcji odbiorników (anten) tego systemu (rys. 153). Część z nich, obok wymagań w zakresie emisji fal radiowych, musi spełniać wymagania na środowisko zewnętrzne, jak opady, kurz, wstrząsy itd. Nie bez znaczenia jest również liczba anten na jedną bramkę. Bramka to sektor odczytu (zasięg), przez który będą przechodziły kody TAG.

a) b) c)

Rysunek 153. Rodzaje anten RFID: a – logistyczna bramka, b – ręczny odbiornik, c – sklepowa bramka

Źródło: Barcoding, 2013

W celu zwiększenia skuteczności odczytu stosuje się zwielokrotnienie anten od dwóch do czterech na jeden sektor, dzięki temu różne położenie kodów TAG nie ma tak wielkiego wpływu na szybkość odczytu TAG przez anteny. Szczególnie ważnym jest stosowanie kilku anten tam, gdzie TAG porusza się ze znaczną prędkością względem bramki RFID (Miles i Sarma, 2008).

9.2.6. Zakres częstotliwości pracy RFID

Podstawowym parametrem wpływającym na poprawność i szybkość odczytu TAG przez antenę RFID jest częstotliwość jej pracy. Częstotliwość i moc muszą być dobierane tak, by uwzględniać warunki, w jakich pracują kody TAG (obok uwarunkowań prawnych związanych z ochroną zdrowia i środowiska). Inaczej będzie reagował TAG otoczony metalowym regałem, a jeszcze inaczej szklanymi opakowaniami itd. Dobór częstotliwości wiąże się również bezpośrednio z odległościami TAG od anteny i szybkości ich przemieszczania podczas odczytu. W tabeli 29 przedstawiono zakresy częstotliwości z zasięgiem i zastosowaniem przy doborze rozwiązań RFID.

Tabela 29. Zestawienie częstotliwości nadajników RFID i osiąganych zasięgów

Częstotliwość	Zasięg/zastosowanie
Pasmo niskich częstotliwości (125 – 134 kHz) LF	Technologia LF powstała jako jedna z pierwszych, używana głównie w aplikacjach kontroli dostępu, rejestracji czasu pracy, systemach biletowych (parkingi, obiekty sportowe), identyfikacji zwierząt, przy produkcji immobiliserów samochodowych. Zasięg odczytu / zapisu jest niewielki (max. 50 cm), bez możliwości odczytu wielu identyfikatorów jednocześnie, tzn. w polu działania anteny w danej chwili może znajdować się tylko jeden TAG.
Pasmo wysokich częstotliwości (13,56 MHz) HF	Technologia HF umożliwia odczyt wielu TAG-ów równocześnie (a więc inaczej niż w przypadku LF), ale tylko przy założeniu, że TAG-i znajdują się w obszarze (w przestrzeni) o promieniu nie większym niż 10 – 30 cm oraz żaden z TAG-ów nie znajduje się w bliskim sąsiedztwie względem innego TAG-a (wymagana odległość min. 2-3 cm).
Pasmo ultrawysokich częstotliwości (856 MHz – 952 MHz oraz 2,4 GHz)	Pasmo UHF - 860-960 MHz (865-869 MHz- Europa, 915 MHz- USA, 952MHz –Japonia) - technologia RFID w tej częstotliwości zapewnia największy zasięg spośród wszystkich częstotliwości dostępnych dla TAG-ów pasywnych, jest najbardziej optymalna do zastosowań w zarządzaniu łańcuchem dostaw i z tego też powodu prace nad rozwojem RFID skupiły się szczególnie na tej częstotliwości. Zasięg odczytu w USA wynosi do 6 metrów, w Europie, z uwagi na mniejsze dopuszczalne moce, zasięg ten jest mniejszy. Dla TAG-ów aktywnych zasięg do 10 metrów

Źródło: SKK Systemy kodów kreskowych, 2013

Kolejnym elementem przy doborze częstotliwości pracy anteny jest uwarunkowanie współpracy z TAG aktywnymi lub pasywnymi. Dobierając częstotliwości przy wdrażaniach rozwiązań RFID trzeba uwzględniać lokalne, krajowe lub międzynarodowe ograniczenia w zakresie stosowanych częstotliwości. Należy mieć na uwadze, że nie wszędzie dostępna częstotliwość z zakresu RFID będzie mogła być stosowana.

9.3. Technologia EAN

Technologia EAN wykorzystuje technologię kodów kreskowych. Kod kreskowy to graficzne odzwierciedlenie określonych znaków poprzez kombinację ciemnych i jasnych elementów (kresek), ustaloną według przyjętych reguł budowy danego kodu (symboliki). Rozróżnia się znaki kodujące dane oraz znaki pomocnicze, charakterystyczne dla danej symboliki. Kody te przeznaczone są do odczytywania przez dedykowane czytniki elektroniczne w celu przekazywania ich do systemów informatycznych.

System ten wywodzi się z USA i został opracowany przez Uniform Code Council, Inc. w 1973 roku. UCC przyjęło wówczas dwunastocyfrowy numer i pierwsze kody kreskowe na otwartym rynku zaczęto skanować w 1974 roku. Po sukcesie systemu UPC utworzono w 1977 roku European Article Numbering Association, z zadaniem opracowania kompatybilnego systemu, który mógłby być stosowany poza Ameryką Północną. System EAN został pomyślany jako odmiana systemu UCC i zasadniczo wykorzystuje numery trzynastocyfrowe.

Kod EAN-13 został opracowany przez International Article Numbering Association (IANA) na podstawie standardu UPC-A, przez rozszerzenie z jednej do dwóch cyfr systemu numerowego. Ten system numerowania stał się de facto kodem kraju. Jednak ze względu na liczbę państw na świecie konieczne było w wielu przypadkach wydłużenie kodu kraju do 3 cyfr i stąd Polska ma kod 590. Wprowadzono też kody nieoznaczające kraju, np. kod 290 oznacza towary ważone w sklepach (tzw. kody wewnętrzne) (Hałas, 2000).

9.3.1. Podział kodów EAN

Kody EAN dzielimy na trzy typy:
- EAN-8;
- EAN-13;
- EAN-128.

Kody EAN-13 i EAN-8 są międzynarodowymi symbolikami wzorowanymi na kodzie UPC i przyjętymi w 1976 roku do powszechnego stosowania w Europie, a następnie na całym świecie. Symboliki te są stosowane przede wszystkim w celu oznaczania towarów w handlu detalicznym.

W systemie EAN możliwe jest oznaczanie wyrobów 13- lub 8-cyfrowym numerem identyfikacyjnym (EAN-13 i EAN-8). Numery 8-cyfrowe są szczególnie przydatne przy małych opakowaniach towarów. Kod EAN jest kluczem do pobierania informacji z baz danych systemów informatycznych w takich zakresach, jak: nazwa, cena, pochodzenie itd. System EAN zawiera również system kodowania EAN-128, w którym dodatkowe informacje zawarte są bezpośrednio w numerze kodowym. EAN-128 wykorzystywany jest do

oznakowania opakowań wysyłkowych i może zawierać takie informacje, jak data produkcji, termin ważności, numer serii i in. (Hałas, 2000).

9.3.2. Zasady tworzenia kodów EAN

Kod liczbowy EAN-13 składa się z czterech obszarów (rys. 154):
- system numerowy;
- kod wytwórcy;
- kod produktu;
- cyfra kontrolna.

Pierwsza cyfra systemu numerowego jest drukowana na lewo od kodu kreskowego, a druga cyfra systemu jest drukowana jako pierwsza cyfra 6-cio cyfrowej grupy poniżej lewej części kodu kreskowego; kod wytwórcy daje następne cyfry tej grupy. Kod produktu stanowi pierwsze 5 cyfr grupy poniżej kodu kreskowego, a cyfra kontrolna stanowi 6-tą cyfrę tej grupy.

Rysunek 154. Budowa kodu EAN

Źródło: Instytut Logistyki i Magazynowania, 2013

System numerowy: system numerowy składa się z dwóch cyfr (lub trzech cyfr) identyfikujących władze kraju (lub regionu gospodarczego) nadające kod wytwórcy.

Kod wytwórcy: Kod wytwórcy jest unikalnym kodem przydzielonym każdemu wytwórcy przez „władzę numerową" właściwą dla systemu numerowego. Wszystkie produkty danej firmy będą używały tego samego kodu wytwórcy oraz różnych kodów produktu. EAN używa „kodów wytwórcy zmiennej długości". Przydzielenie stałej długości 5-cio cyfrowego kodu wytwórcy, tak jak w przypadku UCC, oznacza, że każdy wytwórca może mieć do 99999 kodów produktu. Wielu producentów nie ma tylu produktów, co oznacza, że setki a nawet tysiące potencjalnych kodów jest nieużytkowanych u producentów. Tak więc jeśli producent wie, że będzie potrzebował tylko kilka kodów, EAN może mu przydzielić dłuższy kod producenta, zostawiając mniej miejsca na kody produktów. Daje to efektywniejsze użycie kodów producenta i produktów.

Kod produktu: Kod produktu jest unikalnym kodem przydzielonym przez wytwórcę. W przeciwieństwie do kodu wytwórcy, wytwórca ma swobodę przy przydzielaniu kodu produktu do swoich wyrobów, bez konsultacji z innymi wytwórcami. Ponieważ EAN gwarantuje, że pierwsza część kodu jest unikalna, to wytwórca musi tylko upewnić się, że do nowych produktów nie używa kodów wcześniej używanych do starych produktów.

Cyfra kontrolna: Cyfra kontrolna jest dodatkową cyfrą w numerze używaną do sprawdzenia, czy kod kreskowy został prawidłowo zeskanowany. Ponieważ skanowanie może zwrócić błędne dane (zmienna prędkość, błędny wydruk kodu) przydatne może być sprawdzenie, czy pozostałe cyfry kodu kreskowego zostały poprawnie wczytane. Cyfra kontrolna jest obliczona na podstawie pozostałych cyfr kodu kreskowego. Jeśli cyfra kontrolna obliczona w oparciu o pozostałe cyfry kodu kreskowego ma wartość taką, jak zeskanowana cyfra kontrolna, to jest duże prawdopodobieństwo, że kod kreskowy został poprawnie zeskanowany.

9.4. Identyfikacja w technologiach EAN i RFID

Przykład identyfikacji w technologiach EAN i RFID przedstawiono z wykorzystaniem stanowiska badawczego skonstruowanego z profesjonalnych urządzeń. Konstrukcja tego stanowiska zapewnia odpowiednie położenie anteny RFID, służy również do rozmieszczenia pozostałych urządzeń, jak: drukarka etykiet, koncentrator, odbiornik anteny RIFD, czytnik kodów EAN i komputer przenośny wraz z oprogramowaniem. Konfiguracja stanowiska badawczego wraz z oprogramowaniem i kodami źródłowymi wskazuje na możliwość jego rozbudowy, także przez podłączanie kolejnych anten RFID. Poszczególne elementy stanowiska połączone są przewodami zasilającymi urządzenia i przewodami sygnałowymi w celu ich wzajemnej komunikacji. Stanowisko po włączeniu napięcia sieciowego 230 VAC jest w pełni gotowe do pracy.

Widok ogólny stanowiska zilustrowano na rysunkach 155–157. Stanowisko pracuje w oparciu o program komputerowy, symulujący obsługę magazynu paszowego z ewidencją przyjęć do magazynu, autoidentyfikacją towarów i obsługą etykiet EAN.

W skład przedstawionego stanowiska wchodzą:
- odbiornik – Intermec IF5;
- antena – Intermec RFID Patch Antena;
- koncentrator (hub) sieci komputerowej;
- czytnik kodów kreskowych;
- drukarka etykiet;
- komputer przenośny z oprogramowaniem;
- identyfikatory TAG – wklejone w etykietę logistyczną;
- oprogramowanie – „EAN i RFID – Obsługa magazynu paszowego”.

Rysunek 155. Stanowisko badawcze podczas identyfikacji EAN

Rysunek 156. Stanowisko badawcze podczas autoidentyfikacji RFID

Rysunek 157. Stanowisko badawcze podczas identyfikacji EAN

9.4.1. Charakterystyka urządzeń

Urządzenia zastosowane do konstrukcji stanowiska badawczego spełniają normy w zakresie emisji częstotliwości, jak i zasilania ich z sieci energetycznej.

Odbiornik IF5 gromadzi dane z anteny i dekoduje sygnał, umożliwiając pobranie go przez system komputerowy (rys. 158). Odbiornik umożliwia podłączenie jednocześnie do czterech anten (tab. 30).

Tabela 30. Dane techniczne odbiornika: Intermec IF5

Producent	Intermec
Model	IF5
Zasilanie	AC 230 (V~)
Kanały wyjściowe	4 anteny
Kanał komunikacji	Ethernet IPv4, IPv6
Kanał komunikacji	WiFi 802.11g
Zakres częstotliwości	869, 915, 950 (MHz)

Rysuenk 158. Odbiornik: Intermec IF5

Źródło: Barcodes Inc., 2013

Antena RFID przejmuje dane, które zapisane są na TAG. Po pojawieniu się TAG w zasięgu działania anteny, następuje odczytanie danych zapisanych na TAG (wielu jednocześnie) i przesłanie tych danych do odbiornika IF5 (rys. 159). Parametry anteny zamieszczono w tabeli 31.

Tabela 31. Dane techniczne anteny:
Intermec RFID Patch Antenna

Producent	Intermec
Model	RFID Patch Antenna
Częstotliwość	865-870 (MHz)
Oporność	50 (Om)
Moc wyjściowa	100 (Wat)

Rysunek 159. Antena: Intermec RFID Patch Antenna

Źródło: Barcodes Inc., 2013

Koncentrator spełnia dwa zadania:
- umożliwia komunikację pomiędzy komputerem przenośnym a odbiornikiem IF5;
- pełni rolę DHCP (nadaje dynamicznie numery IP urządzeniom) (rys. 160 i tab. 32).

Tabela 32. Dane techniczne koncentratora Trendnet TW 100

Producent	Trendnet
Model	TW100-S4W1CA
Zasilanie	AC 230 (V~)/ DC 5 (V)
Kanały wyjściowe WAN	1 x 10/100(Mbps) Auto-MDIX port (Internet)
Kanał komunikacji LAN	4 x 10/100(Mbps) Auto-MDIX ports

Rysuenk 160. Koncentrator:
Trendnet TW 100

Źródło: Trend Net, 2013

Czytnik kodów kreskowych ma następujące zadania (rys. 161):
- odczytanie kodu kreskowego z zamianą kodu na ciąg znaków;
- wysłanie ciągu znaków do komputera przenośnego jako imitację klawiatury.

Parametry technicze tego urządzenia zestawiono w tabeli 33.

Tabela 33. Dane techniczne czytnika kodów kreskowych SYMBOL LS2208

Producent	Motorola
Model	SYMBOL LS2208
Zasilanie	USB DC 5 (V)
Rodzaj czytnika kodów	Laser
Kanał komunikacji	USD – symulacja klawiatury

Rysuenk 161. Czytnik kodów kreskowych: SYMBOL LS2208

Źródło: Motorola, 2013

Drukarka etykiet (rys. 162) drukuje etykiety z nadanymi nazwami i kodami kreskowymi w systemie; dane tecniczne zamieszczono w tabeli 34.

Tabela 34. Dane techniczne drukarki etykiet: Clever 247 Plus TTR

Producent	Clever
Model	Clever 247 Plus TTR
Zasilanie	DC 9 (V)
Metoda druku	Termiczna, tremo transferowa
Kanał komunikacji	RS 232, USB
Rozdzielczość	203 (DPI)
Pamięć	4 (MB) Flash

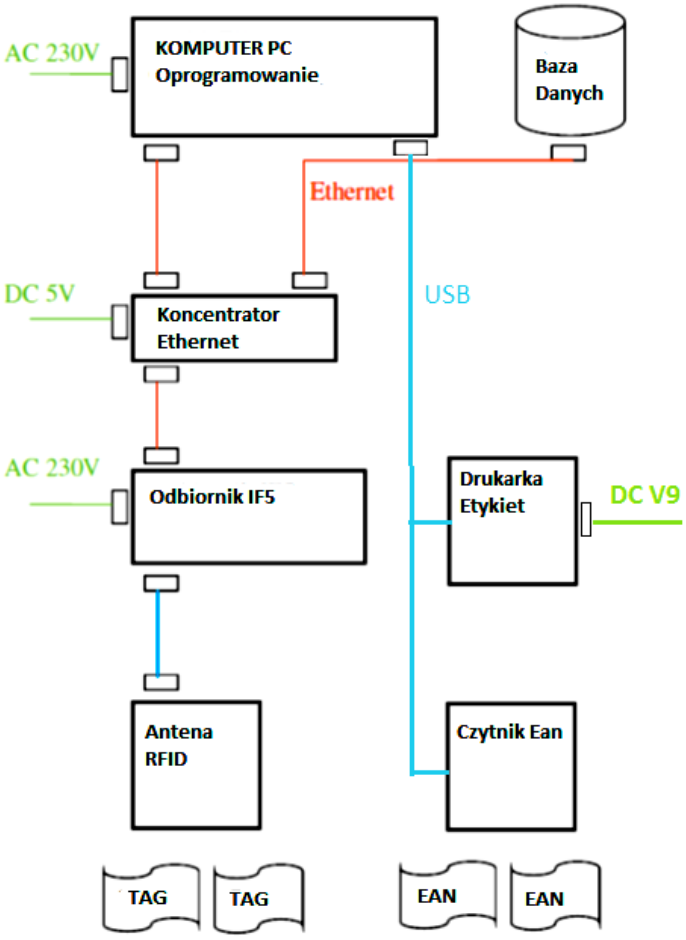
Rysunek 162. Drukarka etykiet CLEVER 247 PLUS

Źródło: SKK Systemy kodów kreskowych, 2013

Integralną częścią stanowiska jest system komputerowy wraz z oprogramowaniem, który posiada system operacyjny, umożliwiający uruchomienie aplikacji „EAN i RFID", oraz zainstalowaną bazą danych, z której korzysta aplikacja.

Oprogramowanie komunikuje się z urządzeniami stanowiska badawczego za pomocą sterowników dostarczonych przez producentów tych urządzeń. Komunikacja pomiędzy aplikacją a bazą danych realizowana jest dzięki sterownikowi ODBC (rys. 163).

Podstawowa komunikacja realizowana jest pomiędzy aplikacją a odbiornikiem IF5. Komunikacja ta jest dwukierunkowa. Aplikacja w celu odczytania danych z TAG pobiera dane z odbiornika IF5 i zapisuje je w bazie danych. W przypadku przekazania danych do TAG aplikacja umożliwia użytkownikowi wprowadzenie odpowiednich wartości i wysyła je do odbiornika IF5, który wysyła sygnał do anteny. Antena wysyła sygnał do TAG, co powoduje trwały zapis danych na TAG. Kolejnym elementem komunikacji w systemie jest generowanie etykiet EAN. W tym celu aplikacja komunikuje się jednokierunkowo z drukarką etykiet. Ostatni element komunikacji to połączenie aplikacji z czytnikiem kodów kreskowych, który zamienia graficzny obraz kodu i wysyła zdekodowany ciąg znaków do aplikacji.



Rysunek 163. Schemat blokowy stanowiska badawczego

9.5. Oprogramowanie systemów EAN i RFID

Aplikacja „System prezentujący rozwiązania EAN i RFID” oparta jest o platformę Microsoft Visual Studio 2012, język programowania Visual C# 2012 .Net.

Interfejs użytkownika wykonany jest w trybie okienkowym. Uruchamianie poszczególnych funkcjonalności polega na wyborze za pomocą myszki opcji z menu aplikacji. Uruchomienie aplikacji rozpoczyna się od ekranu powitalnego z dostępem do menu głównego aplikacji (rys. 164).

Rysunek 164. Ekran startowy aplikacji

Środowisko programistyczne, uruchomieniowe, jak i użyta baza danych, oparte są na rozwiązaniach firmy Microsoft. Aplikacja działa na systemie operacyjnym Windows z platformą Framework oraz bazą danych Microsoft SQL Server. Instalacja Framework i baza danych Micorsoft SQL Server wykonana jest za pomocą oryginalnych programów firmy Microsoft.

Komunikacja pomiędzy aplikacją a urządzeniami stanowiska przebiega następująco:

- **odbiornik RFID IF5** (połączenie realizowane jest protokołem tcp/ip wewnętrzną siecią ethernet), sterowniki dostarczone przez producenta odbiornika IF5 firmę Intermec;
- **TAG** (odczyt danych odbywa się za pomocą fal radiowych), zastosowane w stanowisku TAG-i są typu Read/Write z możliwością odczytu i zapisu informacji;
- **drukarka etykiet** (połączenie odbywa się przez port USB), sterowniki fabryczne dostarczone wraz z drukarką przez firmę *Clever,* formatowanie i wygląd etykiet jest zrealizowany bezpośrednio w aplikacji;
- **czytnik kodów EAN** (połączenie odbywa się przez port USB), czytnik jest ustawiony w trybie symulującym klawiaturę za pomocą dostarczonych kodów sterujących; czytnik zaprogramowano z sekwencją klawisza Enter po zakończeniu odczytania kodu.

9.5.1. Opis aplikacji „EAN i RFID UR”

Aplikacja spełnia dwa zadania: dydaktyczne i badawcze. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę tej aplikacji:

- dydaktyczna funkcja aplikacji polega na umożliwieniu użytkownikowi zapoznania się ze sposobem kodowania i identyfikacji towarów w technologiach EAN i RFID. Realizacja tego zadania polega na wprowadzeniu do systemu odpowiednich danych (uzupełnieniu ewidencji) i stworzeniu etykiet EAN – wydruk za pomocą drukarki etykiet, jak również powiązaniu towarów ze wskazanymi TAG, z możliwością ich zakodowania – przez wysyłanie sygnału radiowego z anteny;
- badawcza funkcja aplikacji pozwala przeprowadzić badanie z zakresu szybkości identyfikacji metodą RFID i identyfikacji za pomocą systemu EAN, daje możliwości przeprowadzania badań odczytów kodów RFID w różnych środowiskach (otoczeniu), jak obecność płynów, metali itd. Badania skuteczności odczytu w zależności od ułożeń TAG w stosunku do anteny, jak i ich odległości od niej;
- by oprogramowanie mogło realizować powyższe zadania, ma możliwości pełnej konfiguracji komunikacji z urządzeniami na stanowisku, jak również ustawień wyglądu etykiet, podłączania ew. kolejnych anten RFID, zapisywania zmiany stanu TAG, odczytywania kodów z czytnika EAN;
- aplikacja, by urealnić zastosowania technologii EAN i RFID, symuluje oprogramowanie magazynu paszowego w zakresie ewidencji przyjęć towaru. W procesie przyjęcia towaru aplikacja wykorzystuje automatyczną identyfikację RFID z jednoczesną możliwością nadawania towarom etykiet EAN.

Wszystkie wprowadzane dane w aplikacji zapisywane są w bazie danych. Zapisanie informacji w bazie danych umożliwia późniejszą identyfikację operacji wg kodu towaru z przyjęcia. Identyfikatorem może być kod EAN z etykiety EAN lub kod zapisany w TAG.

Stanowisko posiada kody źródłowe aplikacji z myślą o jej rozbudowie. Na bazie tego oprogramowania istnieje możliwość stworzenia nowego oprogramowania wykorzystującego kolejne urządzenia składowe tego stanowiska.

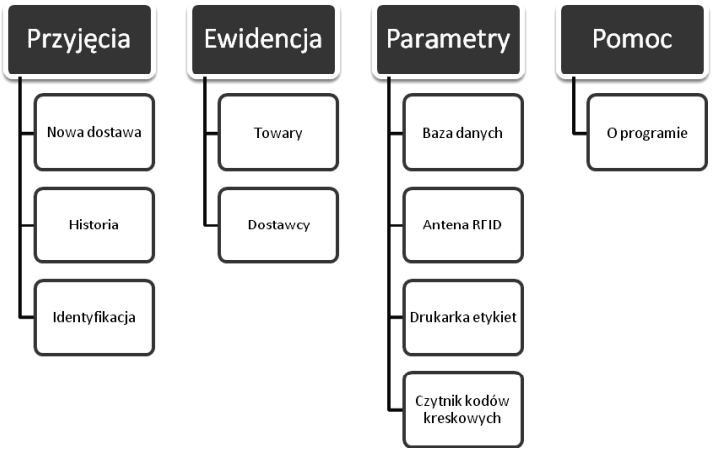
9.5.2. Schemat blokowy aplikacji „EAN i RFID UR”

Schemat blokowy aplikacji przedstawia rozmieszczenie opcji systemu (rys. 165). Menu kontekstowe aplikacji umożliwia użytkownikowi wybór poszczególnych opcji od parametryzacji systemu, przez ewidencję, do obsługi procesu przyjęcia towaru do magazynu.

Aplikacja składa się z trzech zasadniczych bloków:

- parametry:
  - ustalenie połączenia z bazą;
  - ustalenie połączenia z anteną;
  - ustalenie połączenia z drukarką etykiet;
  - test czytnika kodów kreskowych;
- ewidencja:
  - uzupełnienie listy towarów;
  - uzupełnienie listy dostawców;

– przyjęcia:
  - wprowadzenie nowej dostawy;
  - podgląd dostaw przyjętych;
  - weryfikacja danych związanych z TAG.



Rysunek 165. Schemat blokowy aplikacji

9.5.3. Obsługa przykładowej aplikacji „EAN i RFID UR"

W niniejszym rozdziale przedstawiono pełny zakres funkcjonalny aplikacji „EAN i RFID UR" z wyszczególnieniem wszystkich opcji wraz z opisem użycia.

9.5.3.1. Zasady ogólne

Przedstawiając zasady obsługi aplikacji zastosowano słowa kluczowe wg tabeli 35.

Tabela 35. Słowa kluczowe użyte w instrukcji do aplikacji

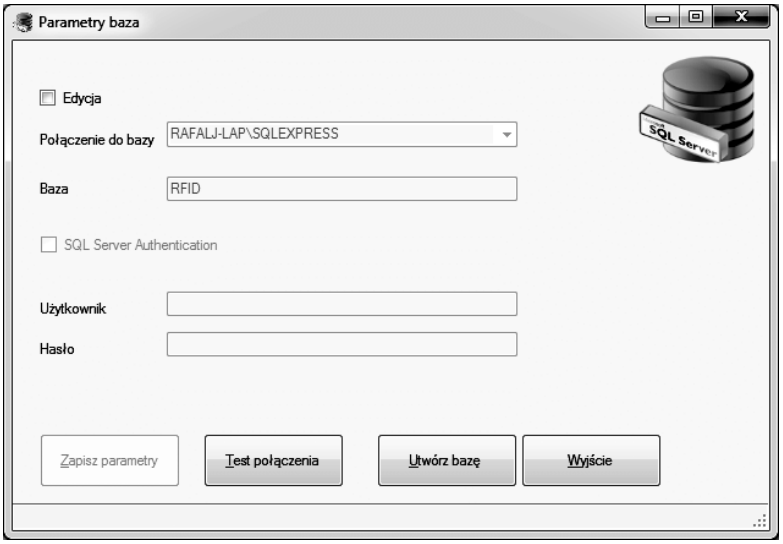
Nazwa	**Opis**
UŻYTKOWNIK	Operator stanowiska badawczego, użytkownik aplikacji
BAZA DANYCH	Baza danych przechowująca dane aplikacji
TAG	Kod radiowy RFID naklejony na pudełko symulujące towar
KOD EAN	Kod kreskowy na EAN na etykiecie
ANTENA	Odbiornik RFID odczytujący dane z TAG
CZYTNIK EAN	Czytnik kodów kreskowych
DRUKARKA ETYKIET	Termiczna drukarka etykiet z nazwą i kodem EAN
ETYKIETA EAN	Etykieta w formie naklejki wydrukowana za pomocą DRUKARKI ETYKIET
PROGRAM	Aplikacja „EAN i RFID UR" prezentująca rozwiązania EAN i RFID

Wykonywanie poszczególnych opcji (przy pierwszym uruchomieniu) powinno odbywać się wg kolejności wykazu opcji systemu, czyli w pierwszej kolejności konfiguracja urządzeń, następnie uzupełnienie danych w ewidencjach, po czym przejście do demonstracji rozwiązań EAN i RFID.

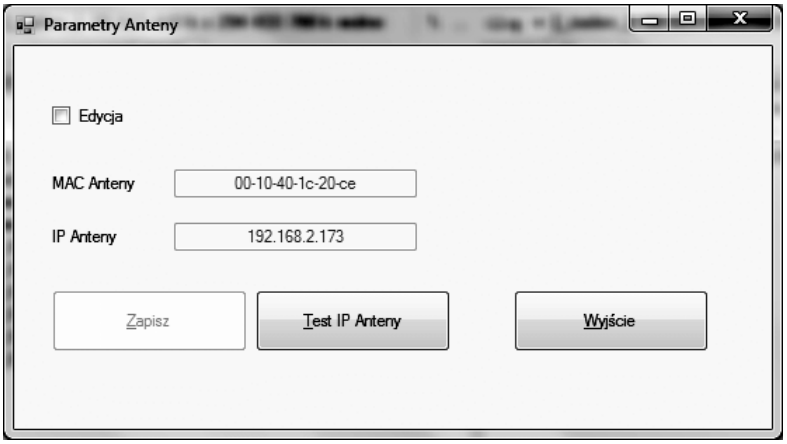
Aplikacji możemy używać bezpośrednio z przenośnego komputera lub zainstalować ją na dowolnym innym komputerze przy odpowiedniej jego konfiguracji (zasady te opisano w punkcie „Wymagania środowiskowe").

9.5.3.2. Wykaz opcji aplikacji

- *parametry*, zmiana parametrów bazy danych, jak również pozostałych urządzeń wiąże się zarówno z przetestowaniem właściwych wartości oraz zapamiętaniem ich w pliku konfiguracyjnym. Rozwiązanie takie zapewnia sprawne kolejne uruchamianie aplikacji, jak również jest miejscem testu stanu urządzenia;
- *baza danych*, okno opcji „Parametry Baza" zamieszczono na rysunku 166. Opcja umożliwia uzupełnienie parametrów i skonfigurowanie połączenia z bazą danych. Aplikacja zakłada, że w środowisku, gdzie jest uruchomiona, istnieją już zainstalowane bazy danych Microsoft SQL Server. Tworzenie połączenia z bazą polega na wskazaniu dostępnej bazy w systemie operacyjnym. Po utworzeniu połączenia system zakłada niezbędne tablice systemowe baz danych, zakłada niezbędne klucze i indeksy na tabelach, z których korzysta aplikacja. Test połączenia umożliwia kontrolę poprawności wpisanych parametrów. Użytkownik otrzymuje odpowiedni komunikat o stanie i poprawności komunikacji ze wskazaną bazą danych. Dostępne są następujące opcje:
  - *edycja* – zaznaczenie „check box" umożliwia edycję parametrów połączenia z bazą danych. Program wyświetla dostępne bazy danych z możliwością wyboru właściwej z listy;
  - *test połączenia* – po uruchomieniu komunikuje o stanie połączenia z wybraną bazą danych;
  - *utwórz bazę* – na wskazanym schemacie bazy danych tworzy tabele, zakłada indeksy niezbędne do działania programu. UWAGA! Opcja powoduje wykasowanie dotychczasowych tabel i założenie nowych;
  - *zapisz parametry* – umożliwia zapisanie parametrów w pliku konfiguracyjnym. Aplikacja podczas kolejnych uruchomień korzysta z plików konfiguracyjnych, dzięki temu użytkownik może bezpośrednio używać aplikacji bez konieczności ponownych konfiguracji połączenia z bazą danych;
- *antena RFID*, kolejnym oknem jest *Parametry Anteny* przedstawione na rysunku 167. Okno służy do skonfigurowania połączenia aplikacji z anteną RFID. Urządzenie posiada adres MAC, jak również adres IP w sieci. Po podaniu parametrów system skontroluje połączenie z anteną. Test połączenia umożliwia kontrolę poprawności wpisanych parametrów; dostępne są następujące modyfikacje;
  - *„edycja parametrów"* – zaznaczenie „check box" umożliwia edycję parametrów połączenia z anetną. Program rozpocznie skanowanie sieci (wywoływanie kolejnych adresów IP z podsieci) w celu wykrycia adresu IP anteny;
  - *„test IP anteny"* – na wskazany adres IP wysyłany jest próbny sygnał do anteny ze zwrotną odpowiedzią, użytkownik otrzymuje komunikat o stanie połączenia;

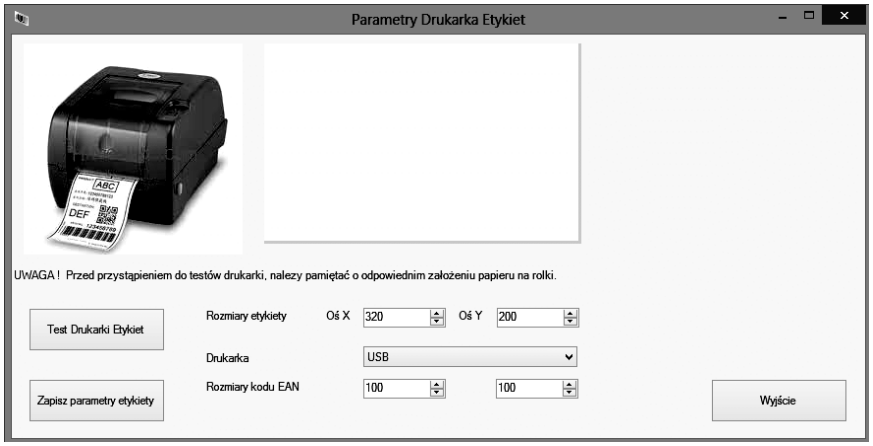


Rysunek 166. Okno opcji „Parametry Baza”



Rysunek 167. Ekran opcji „Parametry Anteny”

– *drukarka etykiet* (rys. 168). W związku z dużym zakresem wielkości etykiet jakie obsługuje drukarka, konieczne jest obok kontroli połączenia urządzenia z komputerem, zaprogramowanie wielkości etykiety. Opcja umożliwia przetestowanie i ustawienie rodzaju etykiet dla drukarki etykiet. Po dobraniu właściwych rozmiarów etykiety i kodu EAN możliwe jest zapamiętanie w pliku konfiguracyjnym tych wartości. W całej aplikacji wydruki etykiet będą generowane wg tych ustawień; dopuszczalne są zmiany:
  - *drukarka* – wybór dostępnych drukarek w systemie Windows (wśród nich drukarka etykiet);



Rysunek 168. Okno parametrów drukarki etykiet

- *rozmiary etykiety* – ustawienie, w zależności od użytej wielkości papieru w drukarce, w pikselach wielkości etykiety dla osi X i osi Y;
- *rozmiary kodu EAN* – ustawienie w pikselach wielkości drukowanego kodu EAN dla osi X i osi Y;
- *test drukarki etykiet* – powoduje wysłanie próbnego wydruku etykiety wg aktualnie ustawionych parametrów;

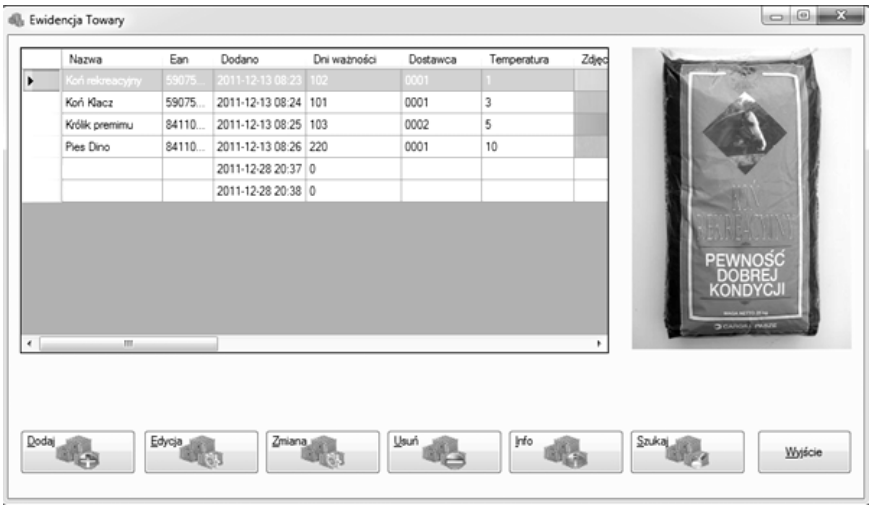
– czytnik kodów kreskowych przedstawiony na rysunku 169 umożliwia odczytanie kodu kreskowego z etykiety logistycznej, którego wartości w postaci ciągu cyfr przekazywane są do aplikacji. Po odczytaniu ciągu znaków wyświetlana jest wartość w systemie w celu potwierdzenia poprawności odczytanego kodu. Dodatkową możliwością opcji jest wydruk etykiety zarówno na drukarce etykiet, jak również na standardowej drukarce systemu Windows. Dostępne są opcje:
  - „*test czytnika kodów”* – uruchamia okno odczytu kodu, po przystawieniu promienia czytnika na kodzie aplikacja pokaże odczytany kod na ekranie;
  - „*wydruk kodu na zwykłej drukarce”* – zeskanowany kod drukowany jest na drukarce systemu Windows.

Realizacja stanowiska pod kątem dydaktycznym wymaga przygotowania danych „rzeczywistych”, które podczas wykonywania ćwiczeń wizualizowane będą w programie. Aplikacja opiera się o dwie główne bazy danych: ewidencja towarów i dostawców (rys. 170):

– *ewidencja towarów*, w opcji tej wprowadzamy niezbędne dane o towarach w naszym systemie. Każdy towar posiada własny wewnętrzny identyfikator, nazwę, kod EAN, kod RFID, jak również zdjęcie. Podczas wprowadzania towaru identyfikujemy towar z kodem dostawcy. Wprowadzona lista towarów przedstawiana jest w sposób tabelaryczny, z możliwością usuwania i edycji już wprowadzonych towarów. Opcja ta umożliwia wykorzystywanie zarówno technologii EAN i RFID. Tabelaryczny układ podglądu listy towarów udostępnia bezpośrednio z listy podgląd zdjęcia towaru, co umożliwia lepszą identyfikację szukanych towarów. Dostępne są następujące opcje;

- *dodaj* – opcja umożliwia dodanie nowego towaru do ewidencji, po uruchomieniu rozpoczyna się skanowanie przez antenę nowych kodów TAG, po ich wykryciu program umożliwia uzupełnienie danych ewidencyjnych (nazwa, kod EAN, zdjęcie). Wybór zdjęcia polega na wskazaniu pliku graficznego wcześniej zapisanego na dysku komputera w formacie: *.jpg lub *.bmp, bezpośrednio po wybraniu pojawi się jego podgląd;

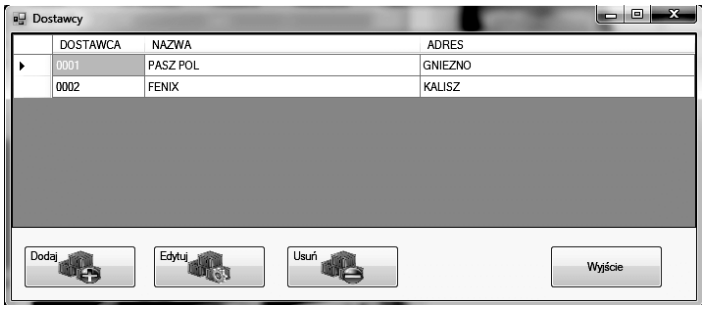
Rysunek 169. Okno parametrów czytnika kodów kreskowych



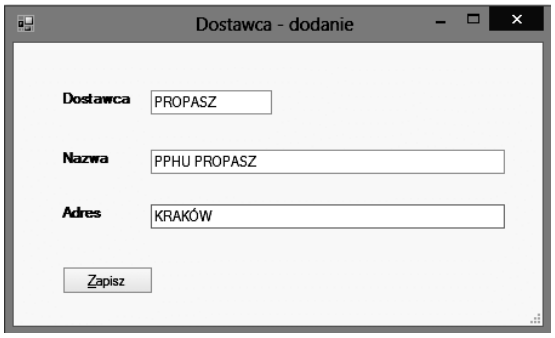
Rysunek 170. Okno „Ewidencja Towary”

- *edycja* – uruchomienie opcji powoduje uruchomienie skanowania przez antenę kodów TAG w zasięgu anteny. Odszukane TAG po odnalezieniu w ewidencji towarów program umożliwia edytowanie danych ewidencyjnych (nazwa, kod EAN, zdjęcie);
- *usuń* – opcja powoduje trwałe usunięcie towaru z ewidencji. Usunięta zostaje pozycja, na której ustawił się użytkownik;
- *info* – po ustawieniu się użytkownika na wskazanym towarze system wyświetla informację o kartotece w postaci formatki;
- *szukaj* – opcja umożliwia odszukanie towaru po jego nazwie lub kodzie EAN;
- *drukuj"* – po wybraniu przez użytkownika pozycji w ewidencji system umożliwia wydruk etykiety z nazwą i kodem EAN; opcja wykorzystuje parametry ustawień etykiety;

– *dostawcy*, okno to pozwala na wprowadzenie podstawowych danych (logo, nazwa, adres) o dostawcach (rys. 171). Powiązane jest ono z oknem „*Przyjęcie Towaru*", jak również „*Ewidencja towarów*". Okno *dostawców* zawiera opcje:
  - *dodaj* – opcja umożliwia dodanie nowego dostawcy do ewidencji, po uruchomieniu pojawia się formatka (rys. 172);
  - *edytuj* – umożliwia edycję wskazanej pozycji przez użytkownika;
  - *usuń* – trwale usuwa pozycję, którą wskazał użytkownik;



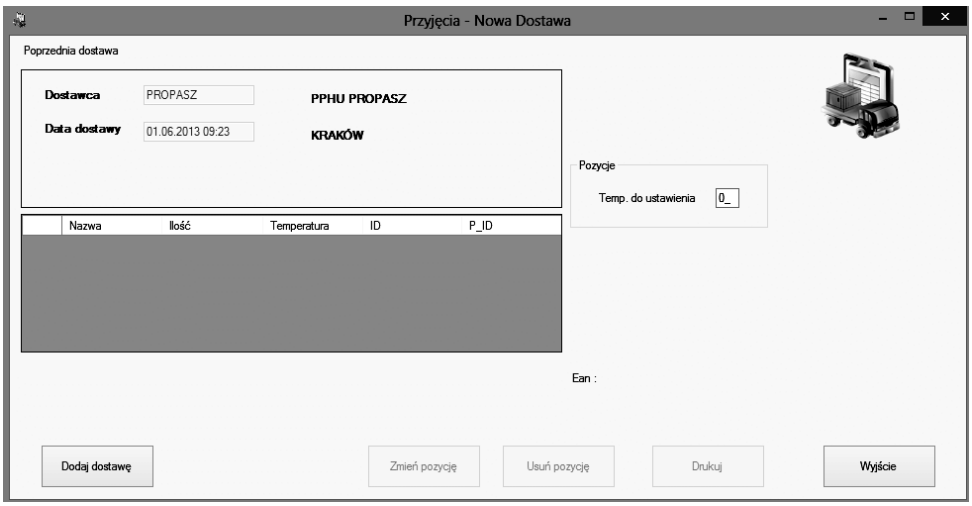
Rysunek 171. Okno „Dostawcy"



Rysunek 172. Okno wprowadzania dostawcy

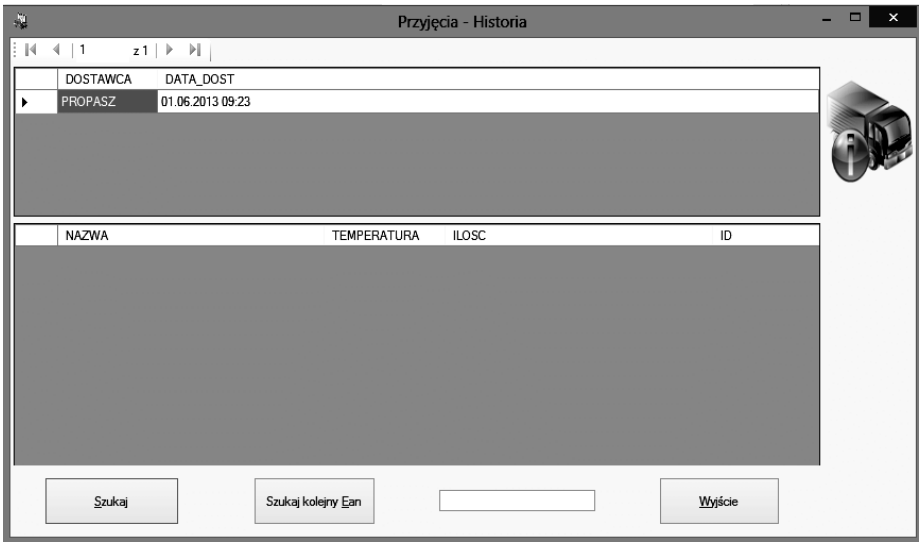
Przyjęcie towaru pozwala ujawnić funkcjonalność programu. Tutaj użytkownik może zobaczyć zasady autoidentyfikacji, zrozumieć zasady zapisywania danych zwrotnych w TAG, zapoznać się z autoidentyfikacją grupową. Dzięki zautomatyzowaniu połączeń pomiędzy składowymi aplikacji, wszystko realizowane jest przy minimalnej ingerencji obsługi. W zakresie dostaw możliwe są następujace działania:

– *nowa dostawa*, pozwala na symulację przyjęcia towaru do magazynu paszowego ze wskazaniem dostawcy, podaniem ilości sztuk przyjętych do magazynu, jak również zapis zwrotny temperatury dla przyjmowanych towarów (rys. 173). Temperatura zostanie zapamiętana w TAG. Każda z dostaw będzie zapisana w bazie danych z możliwością ich przeglądania. Z poziomu tej opcji aplikacja umożliwia wydruk etykiety logistycznej przyjętych towarów, ponadto:
  - *dodaj dostawę* – opcja uruchamia proces przyjęcia dostawy, po wybraniu dostawcy rozpoczyna się autoidentyfikacja. Użytkownik w polu działania anteny umieszcza towary z kodami TAG, system tworzy listę wykrytych kodów z możliwością podania temperatury przyjścia. Po zidentyfikowaniu towaru program pokaże jego nazwę i zdjęcie. Zapisywanie danych w TAG polega na wykorzystaniu części kodu (pierwszych znaków) i zastąpieniu ich określoną wartością. W aplikacji są to dwa pierwsze znaki:
    • przykład kodu przed zmianą: *00191919292922222*
    • przykład kodu po zmianie: *10*191919292922222
  - *10* – oznacza temperaturę przyjęcia;
  - *zmień pozycję* – opcja umożliwia edytowanie i zapisanie temperatury dostawy w kodzie TAG dla wskazanej przez użytkownika pozycji;
  - „*usuń pozycję”* – opcja umożliwia usunięcie wskazanej pozycji z dostawy;
  - „*drukuj”* – dla wskazanej pozycji możliwe jest wydrukowanie etykiety;



Rysunek 173. Okno „Przyjęcia – Nowa Dostawa”

– historia, wizualizuje zapisane w bazie danych dostawy (rys. 174). Pozwala na zawężanie ich po dacie lub odszukanie dostawy przez odczytanie kodu EAN towaru z wyszukaniem go w historii dostaw. Opcja nie współpracuje z anteną, służy jedynie do prezentacji systemu kodowania EAN. Możliwe są dwie opcje:
  - *szukaj* – opcja umożliwia filtrowanie dostaw do wskazanej daty;
  - *szukaj kolejny EAN* – po wprowadzeniu kodu EAN przez odczytanie za pomocą czytnika kodów, program przeszukuje bazę danych dostaw, ustawiając się na pierwszej dostawie tego towaru;



Rysunek 174. Ekran opcji „Historia”

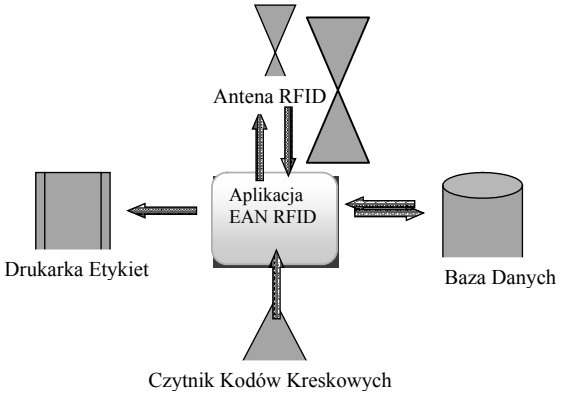
– *identyfikacja*, symuluje funkcjonalność w magazynie, gdzie nie dokonujemy na towarze operacji typu przyjęcie, lecz chcemy przez identyfikację TAG dowiedzieć się o jego kodzie i danych na nim zapisanych, np. temperaturze przyjęcia. Opcja doskonale nadaje się do wizualizacji szybkiej autoidentyfikacji wielu kodów TAG jednocześnie; dopuszczalne są modyfikacje:
  - *start* – opcja powoduje uruchomienie skanowania przez antenę kodów TAG w jej zasięgu, użytkownik umieszcza pojedynczo lub w grupie towary z naklejonymi kodami TAG, system każdy kolejny rozpoznany towar dodaje do listy na ekranie, obok nazwy towaru pokazuje jego zdjęcie z bazy danych;
  - *stop* – opcja powoduje zatrzymanie procesu skanowania przez antenę kodów TAG (rys. 175);

Rysunek 175. Okno „Identyfikacja”

9.5.3.3. Algorytm funkcjonowania systemu autoidentyfikacji

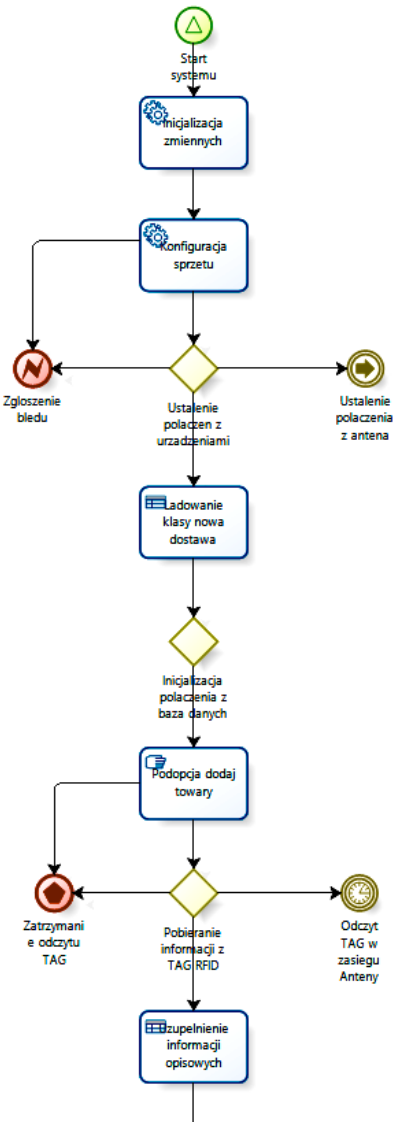
Aplikacja „EAN i RFID UR” opiera się na komunikacji i interakcji baz danych, jak i urządzeń wchodzących w skład stanowiska. Połączenie z anteną umożliwia odczyt lub zapis danych w TAG, komunikacja z drukarką etykiet umożliwia wydruk etykiety logistycznej, a komunikacja z czytnikiem kodów kreskowych umożliwia pobranie kodu kreskowego z etykiety. Wszystkie informacje o towarach, dostawcach i dokumentach zapisywane i odczytywane są w bazie danych.

W celu zapewnienia poprawnej pracy aplikacji na każdym jej etapie wprowadzone są funkcje i pętle kontrolujące poprawność komunikacji z bazą danych i urządzeniami. Przepływ informacji przedstawiono na schemacie komunikacji (rys. 176).

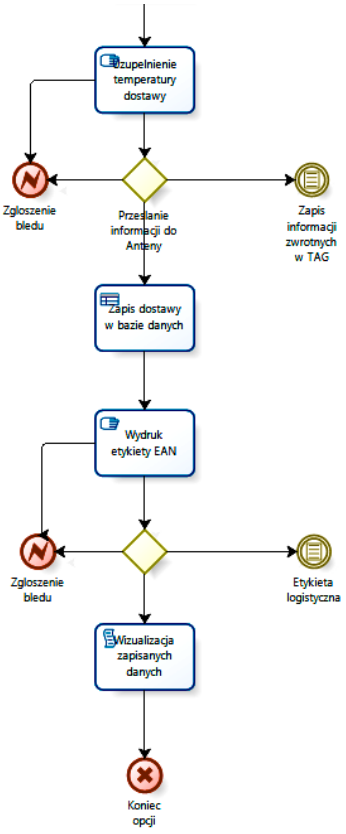


Rysunek 176. Schemat komunikacji aplikacji „EAN i RFID UR”

Zasady działania systemu przedstawione są na algorytmie działania aplikacji (rys. 177 i 178).



Rysunek 177. Algorytm działania aplikacji



Rysunek 178. Kontynuacja algorytmu działania aplikacji

9.5.3.4. Wymagania środowiskowe dla aplikacji „EAN I RFID UR”

W celu zapewnienia prawidłowej pracy systemu ważnym elementem jest spełnienie wymagań środowiska uruchomieniowego dla aplikacji „EAN I RFID UR” zarówno w zakresie systemu operacyjnego (tab. 36), jak również zainstalowania i skonfigurowania bazy danych (tab. 37).

Tabela 36. Wymagania konfiguracyjne dla systemu operacyjnego

Nazwa	**Wersja/wielkość**
System operacyjny	Windows XP, 7
Środowisko uruchomieniowe	Framework 2.0 lub wyższy
Pamięć RAM	500 Mb
Pojemność dyskowa	Minimum 20 (Mb)

Tabela 37. Wymagania konfiguracyjne dla bazy danych

Nazwa	**Wersja**
Micorsoft SQL	MS Sql Server Express 2005 (lub nowsza)
Autentykacja	Windows, użytkownik

LITERATURA

Ahson, S.A. (2008). *RIFD Handbook: Applications*, Technology, Security,and Privacy. ISBN-13: 978-1420054996.

Barczyk, J. (2007). Robotyzacja w przemyśle spożywczym. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 1, 16-20.

Barczyk, J.; Jarzembski, B. (2004). Robotyzacja pakowania, problemy i rozwiązania. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 5, 13-16.

Bartnik, G.; Kusz, A.; Marciniak, A. W. (2006). Modelowanie procesu eksploatacji obiektów technicznych za pomocą dynamicznych sieci bayesowskich. *Inżynieria Rolnicza*, *12*(87), 9-16.

Borowiak, J. (2007). *Pomidory w polu*. Warszawa, Wyd. Hortpress, ISBN 978-83-89211-58-3.

Buchter-Weisbrodt, H (2009). *Pomidory odmiany i uprawa*. Warszawa, Wyd. RM, ISBN 978-83-7243-709-9.

Craig, J. J. 1993. *Wprowadzenie do robotyki*. Warszawa, WNT.

Hałas, E. (2000). *Kody kreskowe: rodzaje, standardy, sprzęt, zastosowania*. Poznań, Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania, ISBN: 83-87344-60-5.

Jankowski, S. (2007). *Opakowania transportowe*. Warszawa, WNT, ISBN 978-83-204-3235-0.

Jarczyk ,A, Płocharski, W. (2010). *Technologia produktów owocowych i warzywnych*. Skierniewice, Wyd. Wyższej Szkoły Ekonomiczno-Humanistycznej, ISBN 978-83-61179-08-05.

Juszka, H. (2006). *Automatyzacja i robotyzacja w inżynierii rolniczej.* Kraków, Wyd. PTIR, ISBN 83-917053-3-1.

Juszka, H.; Lis, S. (2006). Modeling of subpressure changes in under-teat chambers of the milking apparatus for cows. *Annual Review of Agricultural Engineering*, *5*(1), 157-163.

Juszka, H.; Lis, S., Tomasik, M. (2006). Modelowanie podciśnienia w kolektorze aparatu udojowego dla krów. *Acta Scientiarum Polonorum*, *Technica Agraria*, *5*(1), 81-90.

Juszka, H.; Tomasik, M. (2006). Logika rozmyta w sterowaniu podciśnieniem w automatyzowanym doju krów, *Acta Sci. Pol., Technica Agraria,* 4, 2005, 67-74.

Kleist, R. A., Chapman, T. A., Sakai, D. A., Jarvis, B. S. (2005). *RFID Labeling. Smart Labeling Concepts & Applications for the Consumer Packaged Gods Chain*, wyd. 2, Printronix Inc., Irvine (CA), 89.

Knap-Stefaniuk, A. (2010). Zarządzanie Zmianami. *Biuletyn POU*, *5*(39), ISSN 1897-3329.

Kupczyk, A. (1988). Model dynamiki zmian podciśnienia w aparacie udojowym dojarki z rozdzielnym transportem mleka i powietrza. Cz. I. Model dynamiki zmian podciśnienia w kubku udojowym. *Rocz. Nauk Rol*., T. 78-C-2, 173-181.

Kusz, A.; Marciniak, A. W. (2006). Dynamiczne sieci probabilistyczne jako system reprezentacji wiedzy. *Inżynieria Rolnicza*, *12*(87), 285-294.

Łachwa, A. (2001). *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*. Seria Problemy współczesnej nauki teoria i zastosowania. Informatyka, Warszawa, Wyd. Exit, ISBN 83-87674-21-4.

Lipiński, M.; Winnicki, S. (2006). *Biotechnika pozyskiwania surowca mlecznego*. Poznań, Wyd. Akademii Rolniczej w Poznaniu, ISBN 83-7160-417-3.

Lis, S. (2009). *Modelowanie i symulacja komputerowa sterowania podciśnieniem w aparacie udojowym*. Rozprawa doktorska. Maszynopis. UR – WIPiE w Krakowie.

Lis, S.; Czech, M.; Juszka, H.; Tomasik, M. (2012a). Robotics in the process of packing greenhouse tomatoes, *Inżynieria Rolnicza*, *4*(140)T.2, 71-77.

Lis, S.; Czech, M.; Juszka, H.; Tomasik, M. (2012b). Zastosowanie chwytaka podciśnieniowego do jednostkowego pakowania jaj. Opracowania monograficzne pod redakcją naukową prof. dra hab. inż. Wacława Romaniuka. Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE, Warszawa, 83-87.
Lis, S.; Juszka, H.; Tomasik, M. (2007). Sterowanie podciśnieniem w autonomicznym aparacie udojowym. *Inżynieria Rolnicza*, *5*(123), 129-135.
Lisińska-Kuśnierz, M.; Ucherek, M. (2003). *Współczesne opakowania*. Kraków, Wyd. Naukowe PTTŻ, ISBN 83-89-541-02-5.
Majewski, J. (2006). *Informatyka w magazynie*. Poznań, Wyd. Instytut Logistyki i Magazynowania, 83-87344-52-4.
Miles, S.B., Sarma, S.E. (2008). *RFID Technology and Applications*. ISBN-13: 978-0521880930.
Morecki, A.; Knapczyk, J. (1993). *Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów*. Warszawa, WNT, ISBN 83-204-1571-3.
Mroczek, B. (2006). Projektowanie regulatorów rozmytych w środowisku MATLAB-Simulink®. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 11, 5-13.
Mrozek, B., Mrozek, Z. (2004). *MATLAB i Simulink*. Gliwice, Wyd. HELION, ISBN 83 – 7361 – 486 – 9.
Olszewski, M., Barczyk, J., Falkowski, J. L., Kościelny, W. J. (1992). *Manipulatory i roboty przemysłowe*. Warszawa, WNT, ISBN 83-204-0654-4.
Przydatek, P.; Kaczmarek, M. (2006). Programowanie robotów przemysłowych Fanuc Robotics. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 9, 32-34.
Schneider, E. (2010): *Limit switch OsiSense XCKN/XCNT. Catalogue.*
Symonds, J. (2009). *Auto-Identification and Ubiquitous Computing Applications: Rfid and Smart Technologies for Information Convergence*. ISBN-13: 978-1605662985.
Tadeusiewicz, R.; Piwniak, G. G.; Tkaczow, W. W.; Szaruda, W. G.; Oprzędkiewicz, K. (2004). *Modelowanie komputerowe i obliczenia współczesnych układów automatyzacji.* Kraków, Wyd. AGH, ISBN 83-89388-62-6.
Tarnowski, W. (2004). *Modelowanie systemów technicznych*. Koszalin, WUPK, ISBN 978-83-736-5052-7.
Wachowicz, E. (2002). Zastosowania teorii zbiorów rozmytych do modelowania procesów technologicznych. *Inżynieria Rolnicza*, *7*(40), 5–17.
Wawszczak, W. (1993). *Przepływy gazu przez kanały*. Skrypty dla szkół wyższych. Politechnika Łódzka.
Zdanewicz, R. (2010). *Podstawy robotyki*. Gliwice, Wyd. Politechniki Śląskiej, ISBN 978-83-7335-648-1.

Strony internetowe

Alien Technology. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.alientechnology.com/.
Asimo.pl. (2013). *Szczegółowy podział robotów*. Pozyskano z: http://www.asimo.pl /materialy/download /robotyka_roboty_podzial.pdf.
As-sensor. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.as-sensor.com.
Autonics (2009). Materiały firmy. Pozyskano z: http://www.autonics.pl/download/BS5_katalog.PDF
Autonics. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.autonics.com.
Babb M. (2010). *Pakowanie – Strefy bezpieczeństwa*. Control Engineering Polska. Pozyskano z: http://www.controlengineering.pl/menu-gorne/artykul/article/pakowanie-strefy-bezpieczenstwa/.
Barcodes Inc. (2013). *RFID*. Pozyskano z: //www.barcodesinc.com/intermec/if5-rfid-zoom.htm.
Barcoding. (2013). *RFID*. Pozyskano z: www.barcoding.com.
Bieńkowski, M. (2011). *RFID - miniaturowy szpieg*. Pozyskano z: http://www.frazpc.pl/artykuly/ 264311,RFID_-_miniaturowy_szpieg.html.

Corecon. (2013). *Automatyczna linia paletyzacji worków z gładzią szpachlową*. Materiały firmy. Pozyskano z: http://www.coreconagvs.com/product_pdf/P320.pdf.
Czarnociński, F., Lipiński, M. (2013). *Roboty udojowe T!TAN*. PortalHodowcy.pl. Pozyskano z: http://www.portalhodowcy.pl/hodowca-bydla/50-numer-2-2008/122-roboty-udojowe-titan.
Czemierowski, D., Kukiełka, K. (2013). *Program wspomagający obsługę zrobotyzowanych stanowisk paletyzacji*. Pomiary Automatyka Robotyka. Pozyskano z: http://www.par.pl/381-program-wspomagajacy-oblsuge-zrobotyzowanych-stanowisk-paletyzacji.html.
Datasensor. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.datasensor.co.uk.
DeLaval. (2013a). *Robot na ruszta RS420*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.delaval.pl/-/Product-Information1/Manure/Products/Cleaning/Robot-alley-cleaning/Robot-na-ruszta-RS420/?sp=428
DeLaval. (2013b). *VMS – dobrowolny system doju*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.delaval.pl/-/Product-Information1/Milking/Products/Stallwork/VMS-station/DeLaval_voluntary_milking_system_VMS/?sp=585.
Dźwiarek, M. (1995). *Bezdotykowe urządzenia ochronne - wymagania bezpieczeństwa.* Bezpieczeństwo Pracy, *1*(282). Pozyskano z: http://wypadek.pl/_wypadek/body/bibl/czasopisma/bezp_pracy/artykuly/1995_01_1/1995_01_01.htm.
Eltrotec. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.eltrotec.com.
Fanuc. (2013). *Roboty paletyzujące*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.fanucrobotics.pl/pl/countries/frpl/news/archive/roboty%20paletyzujace.
FarmTest. (2009). *Power and waterconsumption with AMS*. Pozyskano z: https://www.landbrugsinfo.dk/Tvaerfaglige-emner/FarmTest/Filer/Farmtest61-AMS-UK-web.pdf.
Garus, S. (2013). *Roboty Comau w zintegrowanych rozwiązaniach paletyzujących*. Pomiary Automatyka Robotyka. Pozyskano z: http://www.par.pl/450-roboty-comau-w-zintegrowanych-rozwiazaniach-paletyzujacych.html.
ICT. (2013). *RFID*. Pozyskano z: http://www.ictrfid.com.
Instom. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.instom.com.pl.
Instytut Logistyki i Magazynowania. (2013). *GS1 DataMatrix*. Pozyskano z: http://www.gs1pl.org/gs1-datamatrix.
Intermec. (2013). *Scalable RFID from the Industry Experts*. Pozyskano z: http://www.intermec.com/products/rfid/index.aspx.
Internetowy System Aktów Prawnych. (2013a). *Dz.U. 2002 nr 191 poz. 1596*. Pozyskano z: http://isip.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20021911596.
Internetowy System Aktów Prawnych. (2013b). *Dz.U. 2003 nr 169 poz. 1650*. Pozyskano z: http://isip.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20031691650.
Ipf-electronic. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.ipf-electronic.de.
Jardzioch, A. (2013). *Instrukcja komputerowego symulatora wspomagającego programowanie robota KUKA KR 125*. Politechnika Szczecińska. Pozyskano z: http://zzsw.zut.edu.pl/download/AJ/Instrukcja%20symulatora%20robota%20KUKA%20KR%20125.pdf
KC Robotics. (2013). *KUKA KR 150-2*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://kcrobotics.com/used-robots/kuka/high-payload/KUKA-KR-150-2-180-2-210-2-240-2-270-2-Robots.aspx.
Kuka. (2013). *KR 180 R3200 PA (KR QUANTEC)*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.kuka-robotics.com/poland/pl/products/industrial_robots/special/palletizer_robots/kr180_r3200_pa/.
Lely. (2013). *LeLy astronaut. Zrobotyzowany system udojowy*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.lely.com/uploads/documents/2010/07/Lely_Astronaut_A3_Next_PL.pdf.
Manex Industrial Automation. (2013). *Paletyzacja kartonów z masłem - zrobotyzowana*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.manex.eu/pl/przykladowe-projekty/przemysl-spozywczy/paletyzacja-kartonow-z-maslem-zrobotyzowana/.
MathWorks. (2013). *Matlak®. Fuzzy Logic Toolbox™. User's Guide. Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.instom.com.pl.

MlecznaFarma.pl. (2013a). *Robot udojowy Insentec Galaxy Starline*. Pozyskano z: http://mlecznaferma.pl/robot-udojowy-insentec-galaxy-starline/.
MlecznaFarma.pl. (2013b). *Robot udojowy Milkomax ROBOLEO*. Pozyskano z: http://mlecznaferma.pl/robot-udojowy-milkomax-roboleo/.
Motorola. (2013). *SYMBOL LS2208*. Pozyskano z: http:// www.motorola.com.
Oem Automatic. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.jadan.com.pl/katalog/pdf /09.Kurtyny%20i%20barierki.pdf.
Omron. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.omron-ap.com.
Pace. (2013). *MOTOMAN MPP3*. Pozyskano z: http://www.robot-palletizing.co.uk/motoman-mpp3/.
Phoenix Contact. (2013). *Konfigurowalne moduły bezpieczeństwa*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: https://www.phoenixcontact.com/online/portal/pl?1dmy&urile=wcm:path:/plpl/web/main/products/subcategory_pages/configurable_safety_modules_p-05-02/46a0a1ee-f31a-4b01-9d6f-e4f4dd5065fb.
Politechnika Opolska. (2013). *Roboguide*. Pozyskano z: http://www.robot.po.opole.pl/magazyn /Roboguide_PL.pdf.
Protim. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.protim.pl/oferta.php?p=2&slider=2.
Robotmatrix.org (2013). *ABB Material Handling Robots*. Pozyskano z: http://www.robotmatrix.org /MaterialHandlingRobot.htm.
RobotWorx. (2013). *Reference Manual Motoman SV035*. Pozyskano z: http://www.used-robots.com/manuals.php?page=motoman-sv35_06.
Robotyka.com (2013). *Roboty FANUC M-1iA już w Polsce*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.robotyka.com/wiadomosc.php/wiadomosc.629/fanuc-robotics-polska-sp-z-o-o-przedstawia-roboty-fanuc-m-1ia-juz-w-polsce.
Robotyka.com. (2013). *Programowanie robotów przemysłowych Fanuc Robotics*. Pozyskano z: http://www.robotyka.com/publikacje/3.pdf.
Rockwell Automation. (2013). *Protective Measures and Complementary Equipment*. Materiały firmy. Pozyskano z: http://www.ab.com/en/epub/catalogs/3377539/5866177/3378076/7131359 /Detection-Devices.html.
Rygadło, A. (2013). *Robotyka dla mechatroników*. Pozyskano z: http://www.plan-rozwoju.pcz.pl /wyklady/mechatronika/Robotyka.pdf
ScienceDaily (2013). *Quickplacer: The Fastest Robot In The World*. Pozyskano z: http://www.sciencedaily.com/releases/2006/03/060314165825.htm.
Sick. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: www.sick.com.
Simex. (2013). *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://www.simex.pl.
SKK Systemy kodów kreskowych. (2013). *RFID*. Pozyskano z: http://www.rfid.net.pl /czestotliwosci-fal-radiowych-rfid.
Technologie RFID i EPC. (2013). *RFID*. Pozyskano z: http:// www.rfid-lab.pl.
Trajdos, M., Monkiewicz ,W. (2013). *Kurtyny świetlne i ich praca w układzie sterowania bezpiecznym zatrzymaniem maszyny z przekaźnikami bezpieczeństwa - część II*. Klub Paragraf 34. Pozyskano z: http://www.paragraf34.pl/strona/11.
Trend Net. (2013). *Scalable RFID from the Industry Experts*. Pozyskano z: http://www.trendnet.com.
Web-agri.fr. (2013). *Robot de traite MIone de Gea Farm Technologies*. Materiały firmy. Pozyskano z: http://www.web-agri.fr/machinisme-batiment/batiment-traite/article/ferme-ouverte-le-14-juin-dans-l-eure-1157-80073.html.
Wikpol (2013). *Patriot P320 Conveyor*. *Materiały firmy*. Pozyskano z: http://wikpol.com.pl /index.php?module=Default&action=ContentController&articleId=256&sectionId=255.
XUB0APSNM12. (2013). *Karta produktu*. Pozyskano z: http://pdf.schneider-electric.nu//files /partnumbers/XUB0APSNM12_document.pdf

Zieliński, C. (2013). *Roboty przemysłowe, języki programowania robotów przemysłowych*. Pomiary Automatyka Robotyka. Pozyskano z: http://www.par.pl/robotyka/roboty-przemyslowe-i-manipulatory/823-jzyki-programowania-robotow-przemysowych.html.

Normy

PN-EN 60529:2003P. *Stopnie ochrony zapewniane przez obudowy (Kod IP)*.

PN-EN 61496-1:2007P. *Bezpieczeństwo maszyn – Elektroczułe wyposażenie ochronne – Część 1: Wymagania ogólne i badania*.

PN-EN 62061:2008P. *Bezpieczeństwo maszyn – Bezpieczeństwo funkcjonalne elektrycznych, elektronicznych i elektronicznych programowalnych systemów sterowania związanych z bezpieczeństwem*.

PN-EN 999:2002. *Maszyny – Bezpieczeństwo – Umiejscowienie wyposażenia ochronnego ze względu na prędkości zbliżania części ciała człowieka*.

PN-EN ISO 13849-1:2008E. *Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem. Część 1: Ogólne zasady projektowania.*

Polska Norma PN-EN ISO 9000:2001 *Systemy zarządzania jakością - Podstawy i terminologia.*

Inne materiały

Fanuc Ltd. (1996). *Dokumentacja techniczna robota FANUC S420i F, R-J2 Controller*.

ZAŁĄCZNIKI

Rozporządzenia dotyczące bezpieczeństwa i obsługi maszyn

Normy są zbiorem przepisów, dyrektyw, czyli ogólnie przyjętą zasadą postępowania, która określa, jak zachować się w danej sytuacji, np. oceniając ryzyko. Mówią one, jakie standardy musi spełnić człowiek, maszyna, aby zapewnić pełne bezpieczeństwo pracy oraz ograniczyć zagrożenie do minimum.

Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z dnia 26 września 1997 r. przedstawia wymagania w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy. Dz. U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650 Dział 1 opisuje wstępne przepisy, jak należy rozumieć bezpieczeństwo (Internetowy System Aktów Prawnych, 2013b)**.**
Na podstawie art. 237^{15} § 1 Kodeksu pracy zarządza się, co następuje:
§ 2. Ilekroć w rozporządzeniu jest mowa o:

1) „osłonie" – rozumie się przez to element lub zestaw elementów konstrukcyjnych służący do ochrony człowieka przed niebezpiecznymi lub uciążliwymi wpływami pracujących części, mechanizmów i układów roboczych maszyny lub innego urządzenia technicznego;
2) „urządzeniach ochronnych" – rozumie się przez to osłony lub takie urządzenia, które spełniają jedną lub więcej z niżej wymienionych funkcji:
   - zapobiegają dostępowi do stref niebezpiecznych;
   - powstrzymują ruchy elementów niebezpiecznych, zanim pracownik znajdzie się w strefie niebezpiecznej;
   - nie pozwalają na włączenie ruchu elementów niebezpiecznych, jeśli pracownik znajduje się w strefie niebezpiecznej;
   - zapobiegają naruszeniu normalnych warunków pracy maszyn i innych urządzeń technicznych;
   - nie pozwalają na uaktywnienie innych czynników niebezpiecznych lub szkodliwych;
3) „zagrożeniu" – rozumie się przez to stan środowiska pracy mogący spowodować wypadek lub chorobę;

Dz. U. z 2003 r. nr 169, poz. 1650 Dział 3 mówi o procesach pracy, gdzie w rozdziale 3 opisuje, jak obsługiwać i stosować maszyny, narzędzia oraz inne urządzenia techniczne (Internetowy System Aktów Prawnych, 2013b)**.**
§ 51. 1. Maszyny i inne urządzenia techniczne, zwane dalej "maszynami", powinny spełniać wymagania bezpieczeństwa i higieny pracy, określone w odrębnych przepisach, przez cały okres ich użytkowania.
2. Montaż, demontaż i eksploatacja maszyn, w tym ich obsługa, powinny odbywać się przy zachowaniu wymagań bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ergonomii, uwzględniających instrukcje zawarte w dokumentacji techniczno-ruchowej. Miejsce i sposób zainstalowania oraz użytkowania maszyn powinny uwzględniać minimalizację ryzyka zawodowego, w szczególności poprzez:

1) zapewnienie dostatecznej przestrzeni pomiędzy ruchomymi częściami maszyn a ruchomymi lub stałymi elementami otoczenia;
2) zapewnienie, aby wszystkie używane lub produkowane materiały bądź energia były w bezpieczny sposób dostarczane i odprowadzane ze stanowiska pracy.

§ 52. 1. Każda maszyna powinna być wyposażona w element sterowniczy przeznaczony do jej całkowitego i bezpiecznego zatrzymywania.
2. Gdy jest to konieczne w związku z zagrożeniami, jakie stwarza maszyna, i jej nominalnym czasem zatrzymania się, maszyna powinna być wyposażona w urządzenie do zatrzymywania awaryjnego.
3. Elementy sterownicze maszyn mające wpływ na bezpieczeństwo muszą być widoczne i możliwe do zidentyfikowania oraz oznakowane zgodnie z wymaganiami określonymi w Polskich Normach.
4. Elementy sterownicze nie mogą stwarzać jakichkolwiek zagrożeń, w szczególności spowodowanych ich niezamierzonym użyciem.

§ 53. Maszyny powinny być wyposażone w łatwo odróżniające się i odpowiednio oznakowane urządzenia do odłączania od wszystkich źródeł energii. Włączenie zasilania energią nie może powodować zagrożenia dla obsługi.
§ 54. 1. W przypadku zespołowej obsługi maszyny lub gdy stwarza ona zagrożenie dla otoczenia, należy zapewnić sygnalizację ostrzegawczą i alarmową - łatwo dostrzegalną i zrozumiałą.
2. Maszyny wielostanowiskowe powinny być wyposażone w urządzenia sygnalizacji dźwiękowej lub świetlnej automatycznie wysyłające sygnały uprzedzające o uruchomieniu maszyny. Sygnały powinny być odbierane na wszystkich stanowiskach pracy przy danej maszynie.

§ 55. 1. Elementy ruchome i inne części maszyn, które w razie zetknięcia się z nimi stwarzają zagrożenie, powinny być do wysokości co najmniej 2,5 m od poziomu podłogi (podestu) stanowiska pracy osłonięte lub zaopatrzone w inne skuteczne urządzenia ochronne, z wyjątkiem przypadków, gdy spełnienie tych wymagań nie jest możliwe ze względu na funkcję maszyny.
2. Pasy, łańcuchy, taśmy, koła zębate i inne elementy układów napędowych oraz części maszyn zagrażające spadnięciem, znajdujące się nad stanowiskami pracy lub przejściami na wysokości ponad 2,5 m od poziomu podłogi, powinny być osłonięte co najmniej od dołu trwałymi osłonami.
3. Osłony stosowane na maszynach powinny uniemożliwiać bezpośredni dostęp do strefy niebezpiecznej. Osłony niepełne (wykonane z siatki, blachy perforowanej, prętów itp.) powinny znajdować się w takiej odległości od elementów niebezpiecznych, aby przy danej wielkości i kształcie otworów nie było możliwe bezpośrednie dotknięcie tych elementów. Odległości bezpieczeństwa określają Polskie Normy.
4. Maszyny powinny być oznakowane znakami i barwami bezpieczeństwa, zgodnie z wymaganiami określonymi w załączniku nr 1 do rozporządzenia oraz w Polskich Normach.

§ 56. 1. Urządzenia ochronne stosowane przy maszynach powinny spełniać następujące ogólne wymagania:

1) zapewniać bezpieczeństwo zarówno pracownikowi zatrudnionemu bezpośrednio przy obsłudze maszyny, jak i osobom znajdującym się w jej pobliżu;
2) działać niezawodnie, posiadać odpowiednią trwałość i wytrzymałość;
3) funkcjonować samoczynnie, niezależnie od woli i uwagi obsługującego, w przypadkach gdy jest to celowe i możliwe;
4) nie mogą być łatwo usuwane lub odłączane bez pomocy narzędzi;
5) nie mogą utrudniać wykonywania operacji technologicznej ani ograniczać możliwości śledzenia jej przebiegu oraz nie mogą powodować zagrożeń i dodatkowego obciążenia fizycznego lub psychicznego pracowników.

2. Urządzenia ochronne przy maszynach szczególnie niebezpiecznych powinny być tak skonstruowane, aby:

1) zdjęcie, otwarcie lub wyłączenie urządzenia ochronnego powodowało natychmiastowe zatrzymanie maszyny bądź jej niebezpiecznych elementów lub niemożliwe było zdjęcie albo otwarcie osłony podczas ruchu osłanianych elementów;
2) ponowne założenie, zamknięcie lub włączenie urządzenia ochronnego nie uruchamiało automatycznie maszyny.

3. Używanie maszyny bez wymaganego urządzenia ochronnego lub przy jego nieodpowiednim stosowaniu jest niedopuszczalne.

4. Szczegółowe wymagania dla urządzeń ochronnych określają Polskie Normy.

§ 57. Maszyny i narzędzia oraz ich urządzenia ochronne powinny być utrzymywane w stanie sprawności technicznej i czystości zapewniającej użytkowanie ich bez szkody dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników oraz stosowane tylko w procesach i warunkach, do których są przeznaczone.

§ 58. 1. O dostrzeżonych wadach lub uszkodzeniach maszyny pracownik powinien niezwłocznie zawiadomić przełożonego.

2. Maszyny, których uszkodzenie stwierdzono w czasie pracy, powinny być niezwłocznie zatrzymane i wyłączone z zasilania energią. Wznowienie pracy maszyny bez usunięcia uszkodzenia jest niedopuszczalne.

3. Maszyny niesprawne, uszkodzone lub pozostające w naprawie powinny być wycofane z użytkowania oraz wyraźnie oznakowane tablicami informacyjnymi i zabezpieczone w sposób uniemożliwiający ich uruchomienie.

§ 59. 1. Maszyn będących w ruchu nie wolno pozostawiać bez obsługi lub nadzoru, chyba że dokumentacja techniczno-ruchowa stanowi inaczej.

2. Pracodawca jest obowiązany ustalić rodzaje maszyn, które wymagają stałej obsługi, a pozostawianie ich bez niej może być przyczyną katastrofy, wybuchu lub pożaru, oraz ustalić szczegółowe warunki obsługi i nadzoru nad pracą tych maszyn.

§ 60. 1. Maszyn będących w ruchu nie wolno naprawiać, czyścić i smarować, z wyjątkiem smarowania za pomocą specjalnych urządzeń określonych w dokumentacji techniczno-ruchowej.
2. Pracownicy zatrudnieni przy obsłudze maszyn z ruchomymi elementami nie mogą pracować w odzieży z luźnymi (zwisającymi) częściami, jak np. luźno zakończone rękawy, krawaty, szaliki, poły oraz bez nakryć głowy okrywających włosy.

§ 61. 1. Jeżeli obsługa, naprawa, remont lub konserwacja maszyn powoduje zagrożenia dla bezpieczeństwa lub zdrowia pracowników - pracodawca powinien zapewnić, aby czynności te wykonywane były przez pracowników upoważnionych i posiadających odpowiednie przygotowanie.

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30. 10. 2002 przedstawia minimalne wymagania dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy w zakresie użytkowania przez pracowników podczas pracy. Dz. U. z 2002 r. nr 191, poz. 1596 w rozdziale 1 przedstawia przepisy ogólne, które mówią, jak należy interpretować stanowisko oraz urządzenia znajdujące się na nim (Internetowy System Aktów Prawnych, 2013a)**.**
Na podstawie art. 237^{15} § 2 Kodeksu pracy, zarządza się, co następuję:
§ 1. Ilekroć w rozporządzeniu jest mowa o:
1) „maszynie" – należy przez to rozumieć wszelkie maszyny i inne urządzenia techniczne, narzędzia oraz instalacje użytkowane podczas pracy, a także sprzęt do tymczasowej pracy na wysokości, w szczególności drabiny i rusztowania;
2) „użytkowaniu maszyny" – należy przez to rozumieć wykonywanie wszelkich czynności związanych z maszyną, w szczególności jej uruchamianie lub zatrzymywanie, posługiwanie się nią, transportowanie, naprawianie, modernizowanie, modyfikowanie, konserwowanie i obsługiwanie, w tym także czyszczenie;
3) „strefie niebezpiecznej" – należy przez to rozumieć strefę w obrębie oraz wokół maszyny, w której występuje ryzyko dla zdrowia lub bezpieczeństwa pracownika;
4) "pracowniku narażonym" – należy przez to rozumieć pracownika znajdującego się w strefie niebezpiecznej;
5) „operatorze" – należy przez to rozumieć pracownika, któremu powierzono zadanie użytkowania maszyny.

§ 2. 1. Pracodawca powinien podjąć działania mające na celu zapewnienie, że maszyny udostępnione pracownikom na terenie zakładu pracy lub w miejscu wyznaczonym przez pracodawcę są właściwe do wykonywania pracy lub odpowiednio przystosowane do jej wykonywania oraz mogą być użytkowane bez pogorszenia bezpieczeństwa lub zdrowia pracowników.
2. Pracodawca, dokonując wyboru maszyny, powinien brać pod uwagę specyficzne warunki i rodzaj wykonywanej pracy, a także istniejące w zakładzie pracy lub w miejscu pracy zagrożenia istotne dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, w szczególności na stanowisku pracy; pracodawca powinien uwzględniać dodatkowe zagrożenia związane z użytkowaniem maszyny.

3. Pracodawca powinien zastosować odpowiednie rozwiązania mające na celu zminimalizowanie ryzyka związanego z użytkowaniem maszyn, jeżeli maszyny nie mogą być użytkowane bez ryzyka dla bezpieczeństwa lub zdrowia pracowników.

Dz. U. z 2002 r. nr 191, poz. 1596 w rozdziale 3 przedstawia nam minimalne wymagania dotyczące maszyn ich obsługi oraz sterowania (Internetowy System Aktów Prawnych, 2013a)**.**

§ 9. 1. Elementy sterownicze, które mają wpływ na bezpieczeństwo pracowników, powinny być widoczne i możliwe do zidentyfikowania oraz odpowiednio oznakowane.

2. Elementy, o których mowa w ust. 1, powinny być usytuowane poza strefami zagrożenia w taki sposób, aby ich obsługa nie powodowała dodatkowych zagrożeń; nie mogą one stwarzać także jakichkolwiek zagrożeń w związku z przypadkowym ich zadziałaniem.

§ 10. 1. W przypadku gdy jest to konieczne, operator maszyny powinien mieć możliwość sprawdzenia, z miejsca głównego pulpitu sterowniczego, czy nikt nie znajduje się w strefie niebezpiecznej. Jeżeli sprawdzenie nie jest możliwe, układ bezpieczeństwa automatycznie powinien wysyłać akustyczny lub optyczny sygnał ostrzegawczy przed uruchomieniem maszyny.

2. Pracownik narażony powinien mieć czas lub środki umożliwiające uniknięcie zagrożenia spowodowanego uruchomieniem lub zatrzymaniem maszyny.

§ 11. Układy sterowania maszyn powinny zapewniać bezpieczeństwo i być dobierane z uwzględnianiem możliwych uszkodzeń, defektów oraz ograniczeń, jakie można przewidzieć w planowanych warunkach użytkowania maszyny.

§ 12. 1. Uruchomienie maszyny powinno być możliwe tylko poprzez celowe zadziałanie na przeznaczony do tego celu układ sterowania.

2. Wymagania, o których mowa w ust. 1, stosuje się do:

1) ponownego uruchomienia maszyny po jej zatrzymaniu, bez względu na przyczynę zatrzymania;

2) sterowania, w przypadku znaczących zmian w parametrach pracy maszyny, w szczególności prędkości i ciśnienia, o ile ponowne uruchomienie maszyny lub zmiana w jej parametrach pracy nie stwarzają zagrożenia.

3. Przepisów ust. 1 i 2 nie stosuje się do ponownego uruchomienia lub zmian parametrów pracy maszyny, o ile są spowodowane prawidłowym cyklem roboczym urządzenia automatycznego.

§ 13. 1. Maszyny wyposaża się w układ sterowania przeznaczony do całkowitego i bezpiecznego ich zatrzymywania.

2. Każde stanowisko pracy wyposaża się w element sterowniczy przeznaczony do zatrzymywania całej maszyny lub niektórych jej części, w zależności od rodzaju zagrożenia tak, aby maszyna była bezpieczna.

3. Układ sterowania przeznaczony do zatrzymywania maszyny powinien mieć pierwszeństwo przed układem sterowania przeznaczonym do jej uruchamiania.

4. Zasilanie energią odpowiednich napędów maszyny odłącza się w przypadku zatrzymania maszyny lub jej niebezpiecznych części.

§ 14. 1. Ze względu na zagrożenia, jakie stwarzają maszyny, w zależności od czasu ich zatrzymywania, wyposaża się je w urządzenie zatrzymania awaryjnego.

2. Maszyny wyposaża się w środki ochrony przed zagrożeniami spowodowanymi emisją lub wyrzucaniem substancji, materiałów lub przedmiotów.
3. Maszyny stwarzające ryzyko upadku przedmiotów lub ich wyrzucenia wyposaża się w środki ochrony odpowiednie do występującego ryzyka.
4. Maszyny stwarzające zagrożenie emisją gazu, oparów, płynu lub pyłu wyposaża się w odpowiednie obudowy lub urządzenia wyciągowe znajdujące się w pobliżu źródła zagrożenia.

§ 15. 1. Maszyny oraz ich części, o ile jest to konieczne dla zapewnienia bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, mocuje się za pomocą odpowiednich zaczepów lub innych podobnych urządzeń w celu zapewnienia ich stateczności.
2. Jeżeli występuje ryzyko oderwania lub rozpadnięcia się części maszyn powodujące zagrożenie dla bezpieczeństwa i zdrowia pracowników, pracodawca powinien zastosować odpowiednie środki ochronne.
3. W przypadku wystąpienia ryzyka bezpośredniego kontaktu z ruchomymi częściami maszyn, mogącego powodować wypadki, stosuje się osłony lub inne urządzenia ochronne, które zapobiegałyby dostępowi do strefy zagrożenia lub zatrzymywałyby ruch części niebezpiecznych.
4. Osłony i urządzenia ochronne:
   1) powinny mieć mocną (trwałą) konstrukcję;
   2) nie mogą stwarzać zagrożenia;
   3) nie mogą być łatwo usuwane lub wyłączane ze stosowania;
   4) powinny być usytuowane w odpowiedniej odległości od strefy zagrożenia;
   5) nie powinny ograniczać pola widzenia cyklu pracy urządzenia;
   6) powinny umożliwiać wykonywanie czynności mających na celu zamocowanie lub wymianę części oraz umożliwiać wykonywanie czynności konserwacyjnych, pozostawiając jedynie ograniczony dostęp do obszaru, gdzie praca ma być wykonywana, w miarę możliwości bez zdejmowania osłon i urządzeń zabezpieczających;
   7) powinny ograniczać dostęp tylko do niebezpiecznej strefy pracy maszyny.

§ 16. 1. Miejsca i stanowiska pracy lub konserwacji maszyn odpowiednio oświetla się, stosownie do wykonywanych czynności.
2. Części maszyn o wysokiej lub bardzo niskiej temperaturze zabezpiecza się w celu uniknięcia ryzyka ich dotknięcia lub zbliżenia się do nich.
3. Urządzenia ostrzegawcze maszyn powinny być jednoznaczne, łatwo dostrzegalne i zrozumiałe.
4. Maszyny użytkuje się tylko w procesach i warunkach, dla których są przeznaczone.

§ 17. 1. Wykonywanie prac konserwacyjnych powinno być możliwe podczas postoju maszyny. Jeżeli jest to niemożliwe, w celu wykonania tych prac stosuje się odpowiednie środki ochronne albo prace te wykonuje się poza strefami niebezpiecznymi.
2. W przypadku gdy dla danej maszyny jest przewidziane prowadzenie dziennika konserwacji maszyn, prowadzi się go na bieżąco.

§ 18. 1. Maszyny wyposaża się w:
   1) łatwo rozpoznawalne urządzenia służące do odłączania od źródeł energii; ponowne przyłączenie maszyny do źródeł energii nie może stanowić zagrożenia dla pracowników;
   2) znaki ostrzegawcze i oznakowania konieczne do zapewnienia bezpieczeństwa pracowników.

2. Powinny być zastosowane rozwiązania zapewniające bezpieczny dostęp i przebywanie pracowników w obszarach produkcyjnych oraz strefach ustawiania i konserwowania maszyn.

§ 23. Maszyny z własnym napędem, które po uruchomieniu mogą spowodować zagrożenie dla bezpieczeństwa lub zdrowia pracowników, wyposaża się w:

1) urządzenie zapobiegające ich uruchomieniu przez osoby nieupoważnione;
2) odpowiednie urządzenia minimalizujące skutki kolizji, w przypadku poruszania się na torze ruchu jednocześnie kilku maszyn;
3) odpowiednie urządzenia przeznaczone do hamowania i zatrzymywania; urządzenia te wyposaża się w system awaryjnego hamowania, którego układ sterowania powinien być łatwo dostępny lub automatyczny, w celu zahamowania lub zatrzymania urządzenia, w przypadku awarii urządzenia głównego, jeżeli wymagania takie wynikają z zasad bezpieczeństwa;
4) odpowiednie urządzenia pomocnicze zainstalowane w celu poprawienia widoczności, jeżeli bezpośrednie pole widzenia kierowcy nie zapewnia dostatecznego bezpieczeństwa;
5) oświetlenie odpowiednie do rodzaju wykonywanej pracy, zapewniające dostateczne bezpieczeństwo pracownikom, jeżeli maszyny przeznaczone są do użytkowania w nocy bądź w miejscach niedostatecznie oświetlonych;
6) odpowiednie urządzenia przeciwpożarowe, w przypadku gdy urządzenia te nie znajdują się w bliskim zasięgu w miejscu użytkowania maszyn; wymagania te dotyczą maszyn, które własnym działaniem lub ze względu na elementy holowane lub przewożone mogą zagrażać bezpieczeństwu pracowników, stwarzając niebezpieczeństwo pożaru;
7) rozwiązania powodujące natychmiastowe zatrzymanie się zdalnie sterowanych maszyn, jeżeli znajdą się poza zasięgiem działania urządzenia do ich sterowania;
8) urządzenia zabezpieczające przed ryzykiem zderzenia bądź uderzenia występującego podczas normalnej pracy zdalnie sterowanej maszyny, o ile nie ma innych urządzeń kontrolujących takie ryzyko.

§ 24. 1. Jeżeli urządzenie do podnoszenia ładunków jest zainstalowane w maszynie na stałe, zapewnia się jego wytrzymałość i stateczność podczas użytkowania, z uwzględnieniem masy podnoszonych ładunków, jak i naprężeń wytwarzanych w punkcie ich zawieszenia lub zamocowania.

2. Maszyny do podnoszenia ładunków wyraźnie oznakowuje się ze wskazaniem udźwigu nominalnego, a także, jeżeli jest to właściwe, wyposaża się w tablicę obciążalności zawierającą udźwig nominalny dla każdej konfiguracji maszyny.

3. Osprzęt służący do podnoszenia oznakowuje się w sposób umożliwiający określenie jego parametrów niezbędnych dla bezpiecznego użytkowania.

4. Maszyny służące do podnoszenia ładunków, które nie zostały zaprojektowane z przeznaczeniem do podnoszenia osób, w celu uniknięcia ich przypadkowego niewłaściwego wykorzystania, odpowiednio i wyraźnie oznakowuje się.

§ 25. 1. Maszyny do podnoszenia ładunków, instalowane na stałe, tak się instaluje, aby zminimalizować ryzyko:

1) przygniecenia pracownika przez ładunek;
2) niebezpiecznego przemieszczania się ładunku albo swobodnego spadania ładunku;
3) niezamierzonego uwolnienia się ładunku.