

Marcin ROZMUS, Witold ILEWICZ, Jolanta KRYSTEK
Politechnika Śląska

MODYFIKACJA ALGORYTMU OBSŁUGI MAGAZYNU KARUZELOWEGO NA STANOWISKU ELASTYCZNEGO SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono modyfikację algorytmu obsługi magazynu karuzelowego na stanowisku elastycznego systemu produkcyjnego znajdującego się na Wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Magazyn karuzelowy jest jednym z elementów warunkujących elastyczność systemu. Algorytm obsługi magazynu pierwotnie zaimplementowany w sterowniku Mitsubishi FX3U powodował zawieszenie działania systemu i zatrzymanie produkcji. Zaproponowano i zaimplementowano nowy algorytm obsługi, usuwający zastane błędy i rozszerzający elastyczność stanowiska. Algorytm przetestowano w warunkach pracy i potwierdzono jego poprawność i skuteczność.

THE MODIFICATION OF OPERATING ALGORITHM OF CAROUSEL MAGAZINE AT EXPERIMENTAL STAND OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYTEM.

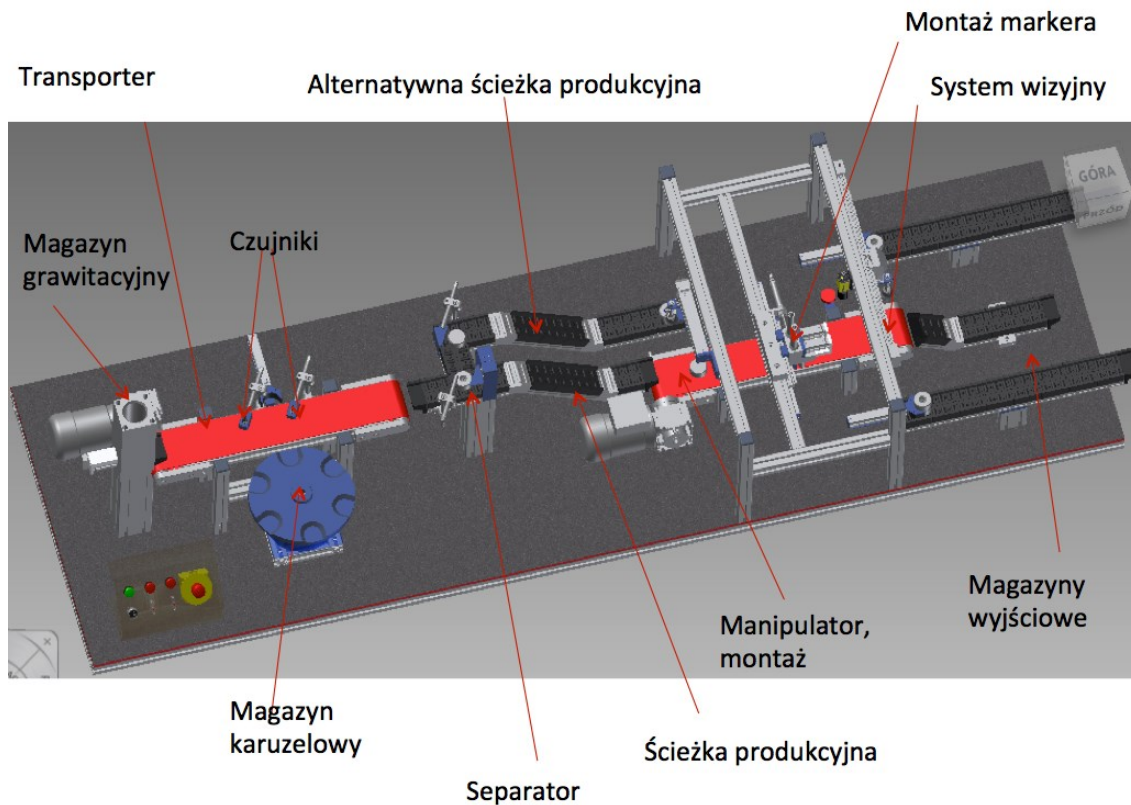
Summary. The article presents a modification of the algorithm that operates carousel magazine at a laboratory stand of flexible production system located at the Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science at Silesian University of Technology. Carousel magazine is one of the elements that determines flexibility of the system. The algorithm originally implemented in Mitsubishi FX3U controller caused the suspension of the operation of the system and stopped production. A new algorithm of operation was proposed and implemented, removing existing errors and improving flexibility of the stand. The algorithm was tested under conditions of work and its validity and effectiveness were reaffirmed.

1. Stanowisko elastycznego systemu produkcyjnego

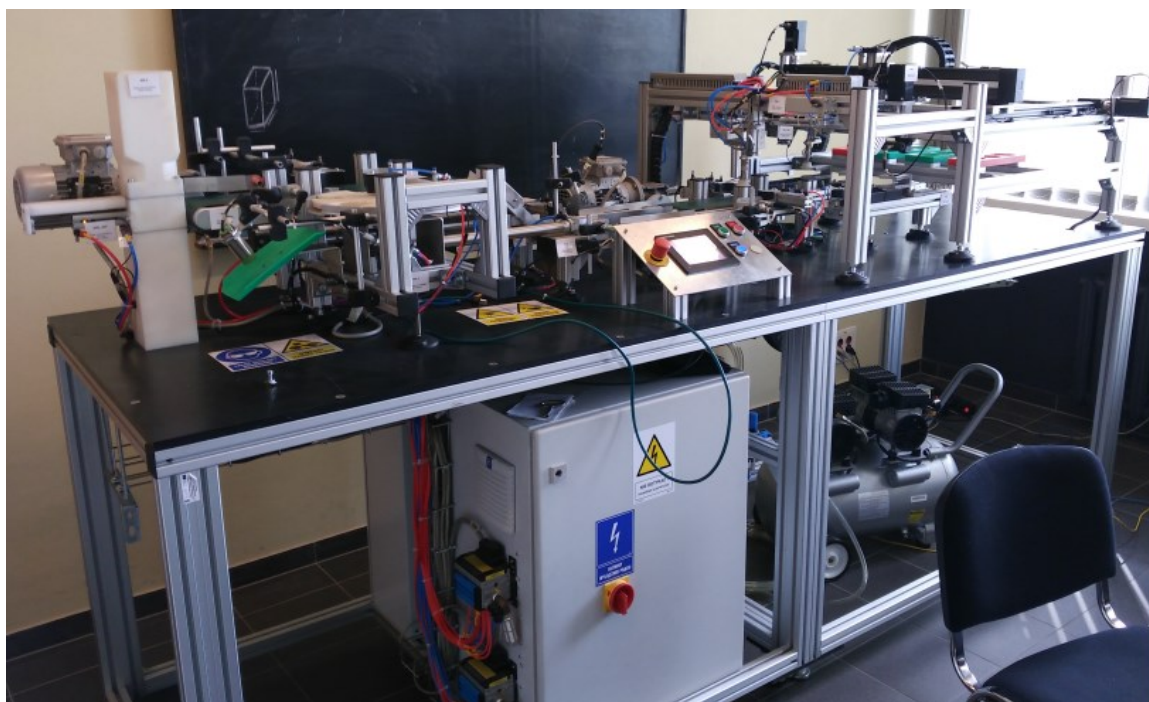
Problematyka elastycznych systemów produkcyjnych i ich szybkiego rozwoju jest szeroko obecna w literaturze branżowej i naukowej [1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

W ramach jednego z projektów Project Based Learning (PBL), realizowanych w ciągu kilku lat w Instytucie Automatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach zostało częściowo sfinansowane i skonstruowane Stanowisko Elastycznego Systemu Produkcyjnego. Stanowisko składa się z kilku połączonych ze sobą sekcji: magazynu

grawitacyjnego wprowadzającego krążki do produkcji, sekcji rozpoznania koloru i materiału aktualnego krążka, magazynu karuzelowego do przechowywania krążków, które zostaną wykorzystane w późniejszych etapach produkcji, sekcji montażu, kontroli wizyjnej oraz paletyzacji[3,4]. Schemat poglądowy stanowiska przedstawiono na rysunku 1 a rzeczywisty wygląd stanowiska pokazuje rysunek 2.



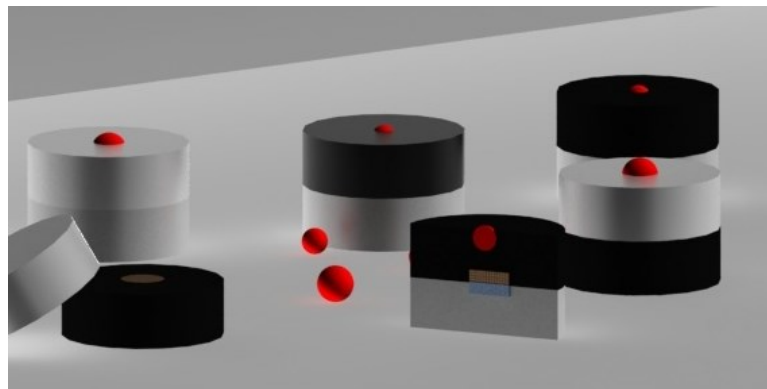
Rys.1. Schemat poglądowy stanowiska Elastycznego Systemu Produkcyjnego



Rys. 2. Aktualny widok Stanowiska Elastycznego Systemu Produkcyjnego

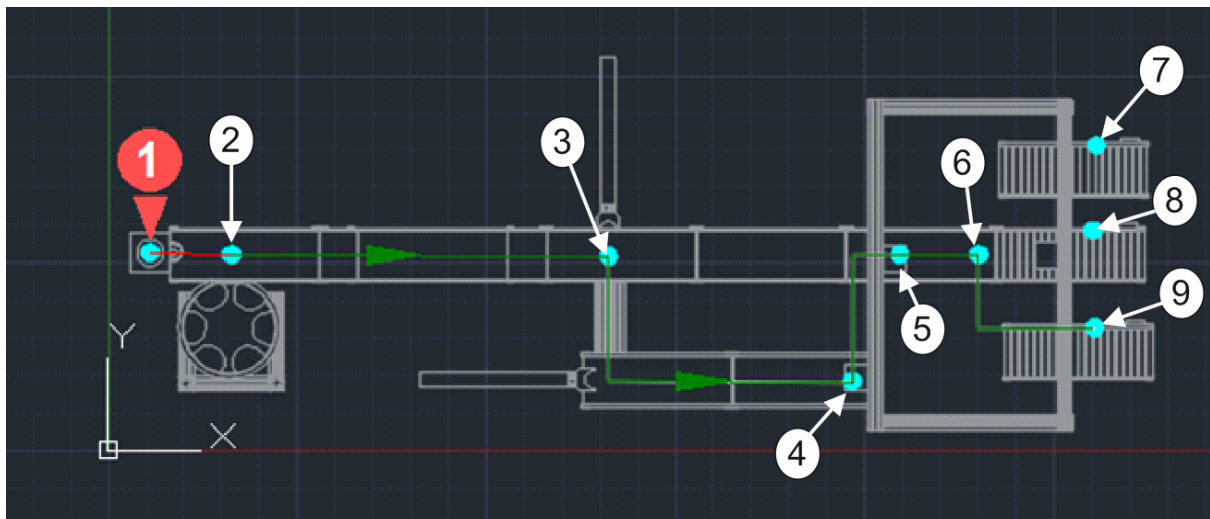
Algorytm sterowania produkcją został zaimplementowany w sterowniku PLC będącym „mózgiem” stanowiska. Jest to sterownik FX3U firmy Mitsubishi. Jako narzędzie jego programowania stosowano program GXWorks 2 wchodzący w skład środowiska IQWorks (odpowiednik TIA Portal firmy Siemens). Logika sterownika była pisana w języku Function Block Diagram (FBD).

Na stanowisku realizowany jest wielowersyjny montaż produktu [4]. Produktem może być pojedynczy krążek lub zestaw krążków, składający się z dwóch krążków łączonych ze sobą magnesem, który jest integralną częścią krążka (rys. 3). Wykorzystywane krążki wielokrotnego użytku, są wykonane z aluminium lub plastiku i występują w różnych kolorach. Zmontowany produkt składający się z dwóch krążków może zostać oznakowany za pomocą magnetycznego znacznika (markera) wielokrotnego użytku, który jest dostępny w dwóch wersjach: kulka mała lub duża. Dostępne kombinacje krążków oraz kulek umożliwiają wytworzenie 52 różnych produktów testowych. Krążki, z których budowane są produkty umieszczane są w magazynie grawitacyjnym znajdującym się na początku stanowiska. Obecnie dostępne są 4 rodzaje krążków: krążek biały plastikowy, krążek biały metalowy, krążek czarny plastikowy oraz krążek czarny metalowy.



Rys. 3. Widok testowych zestawów

6- pozycyjny magazyn karuzelowy umieszczony jest przy pierwszej taśmie transportowej, tak, że wejście do magazynu leży około 10 cm za czujnikiem koloru Keyence CZ-H32. Na podstawie sygnału z czujnika koloru i znajomości aktualnego stanu systemu produkcyjnego oraz zadanego harmonogramu produkcji podejmowana jest decyzja, czy dany krążek, po detekcji jego koloru i materiału, należy umieścić w magazynie czy kierowany jest do kolejnego etapu. Magazyn stanowi bufor dla materiałów produkcyjnych co umożliwia bezblokadowe prowadzenie procesu w przypadku gdy krążki dostarczane są w nieodpowiedniej kolejności. Do magazynu karuzelowego trafiają krążki, które występują w drzewie struktury produktu zaplanowanego w aktualnym procesie produkcyjnym, jednak nie mogą być wykorzystane w chwili obecnej. Przykładowo do magazynu trafi krążek, który ma być górnym krążkiem w zestawie ale na linię produkcyjną nie trafił jeszcze krążek dolny. Krążek z magazynu karuzelowego zostanie ponownie wprowadzony na linię produkcyjną jeżeli będzie zgodny z typem aktualnie potrzebnym w produkcji.



Rys. 4. Stanowisko badawcze – marszruta produkcyjna zestawu

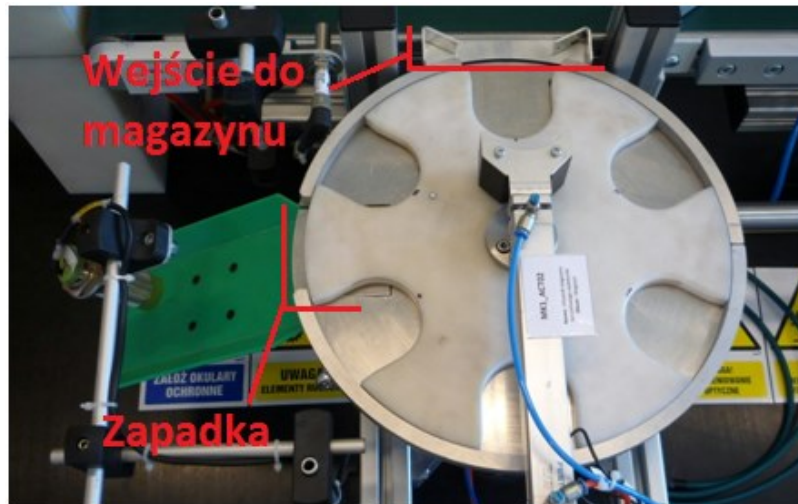
Na rysunku 3 zaznaczono marszrutę produkcyjną realizowaną na stanowisku badawczym. Proces produkcji rozpoczyna się od magazynu grawitacyjnego (1) z którego siłownik wypycha krążek na taśmę transportową 1. Czujniki na stacji 2 identyfikują kolor krążka i materiał z jakiego jest on wykonany. Na podstawie tych informacji podejmowana jest decyzja o kolejnych krokach algorytmu. Jeśli zidentyfikowany krążek nie jest właściwy, to zostaje przesunięty do magazynu karuzelowego. Zbuforowane w nim krążki czekają do czasu pojawienia się na nie zapotrzebowania i wówczas zostają powtórnie wprowadzone do procesu. Jeśli krążek jest właściwy to przemieszczany jest na stację 3 na której sprawdzany jest plan produkcji. Jeśli produkowany jest zestaw podwójny to poprzez taśmę transportową 2 następuje przesunięcie krążka na stację 4 i będzie to krążek dolny w montowanym zestawie. Jeśli produkowany jest zestaw pojedynczy to następuje przesunięcie krążka na stację 5. Krążek dolny czeka na stacji 4 na pojawienie się na stacji 2 właściwego krążka górnego, który musi pojawić się na taśmie transportowej 2. Wówczas chwytak podciśnieniowy manipulatora YZ przenosi krążek na stację montażu 5. Kolejny krążek zestawu transportowany jest na stację 4 i za pomocą chwytaka umieszczany na znajdującym się na stacji montażu krążku. Magnesy umieszczone w krążkach umożliwiają ich połączenie. Następnie następuje pozycjonowanie produktu i z dozownika kulek, w wyłobieniu górnego krążka umieszczony zostaje znacznik. W planie produkcji definiowany jest rodzaj znacznika: kulka mała lub duża i podajnik kulek odpowiednio do tego planu przezbraja się. Na stacji 5 znajduje się czujnik wizyjny, który sprawdza poprawność montażu. Jeśli zestaw jest zmontowany prawidłowo to drugi chwytak podciśnieniowy przenosi gotowy zestaw do określonego magazynu końcowego.

2. Algorytm obsługi pełnego magazynu karuzelowego. Problem, założenia i dostępne informacje

Jeśli krążek ma być umieszczony w magazynie, to taśma przesuwa się o odcinek równy odległości dzielącej czujnik koloru i wejście do magazynu tak, że krążek na taśmociągu jest ustawiony naprzeciw wejścia do magazynu. Następnie uruchamiany

jest algorytm obsługi magazynu karuzelowego. W trakcie testów stanowiska stwierdzono, że zaimplementowany algorytm obsługi magazynu karuzelowego nie gwarantuje ciągłości produkcji w przypadku jego całkowitego zapelnienia. Gdy magazyn był pełen, a miał w nim zostać umieszczony kolejny krążek, produkcja była zatrzymywana. Problem był kluczowy dla zachowania ciągłości procesu produkcyjnego, dlatego należało dokonać modyfikacji algorytmu obsługi magazynu karuzelowego.

Fragment stanowiska z magazynem karuzelowym wraz z opisami przedstawiono na rysunku 5.

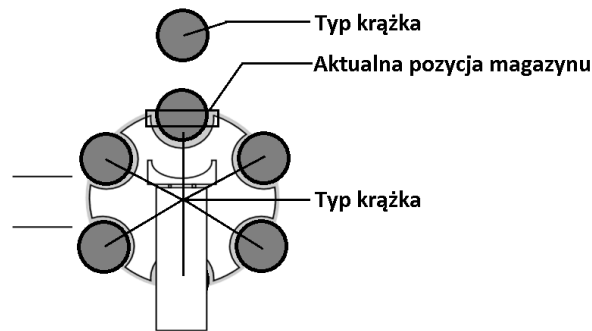


Rys.5. Magazyn karuzelowy

Zmodyfikowany algorytm powinien spełniać następujące założenia:

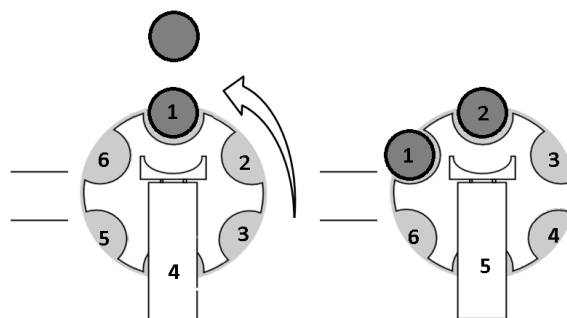
1. gwarancja ciągłości produkcji poprzez zwalnianie miejsca na nowy krążek.
2. z magazynu nie wolno usunąć jednego krążka typu aktualnie wykorzystywanego w produkcji,
3. rozwiązanie problemu zapelnienia magazynu krążkami innego koloru niż ten, który ma zostać umieszczony w magazynie, umożliwienie mieszania i zmianę proporcji typów krążków,
4. wybieranie pozycji do zwolnienia znajdującej się możliwie jak najbliżej zapadki wyrzucającej, skracając tym samym czas potrzebny na obsługę magazynu,
5. synchronizacja pracy magazynu karuzelowego z algorytmem działania całego stanowiska co warunkuje brak zakłócenia procesu produkcji i brak możliwości uszkodzenia elementów mechanicznych magazynu.

Wszystkie założenia zostały zrealizowane we wdrożonym algorytmie. Jest on uruchamiany w chwili, gdy sterownik podejmuje decyzję o umieszczeniu krążka w magazynie karuzelowym, a sam magazyn jest pełen. W pamięci sterownika przechowywana jest informacja o typie krążka jaki ma zostać umieszczony w magazynie, typach krążków znajdujących się w poszczególnych slotach magazynu oraz aktualnej pozycji magazynu.



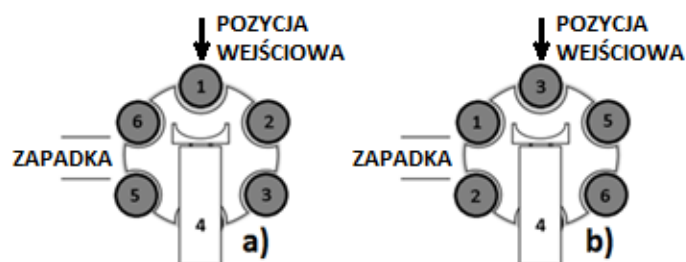
Rys. 6. Informacje dostępne z poziomu sterownika

Poszczególne sloty magazynu karuzelowego domyślnie są ponumerowane liczbami od 1 do 6, zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Przyporządkowanie numerów slotom następuje w chwili uruchomienia produkcji. Na pozycji wejściowej prawidłowo spozycjonowanego magazynu znajduje się slot nr 1. Numeracja poszczególnych slotów jest niezmienna, więc każdy slot zmienia w takcie produkcji swoje położenie względem położenia początkowego, a zatem również względem wejścia magazynu i zapadki.



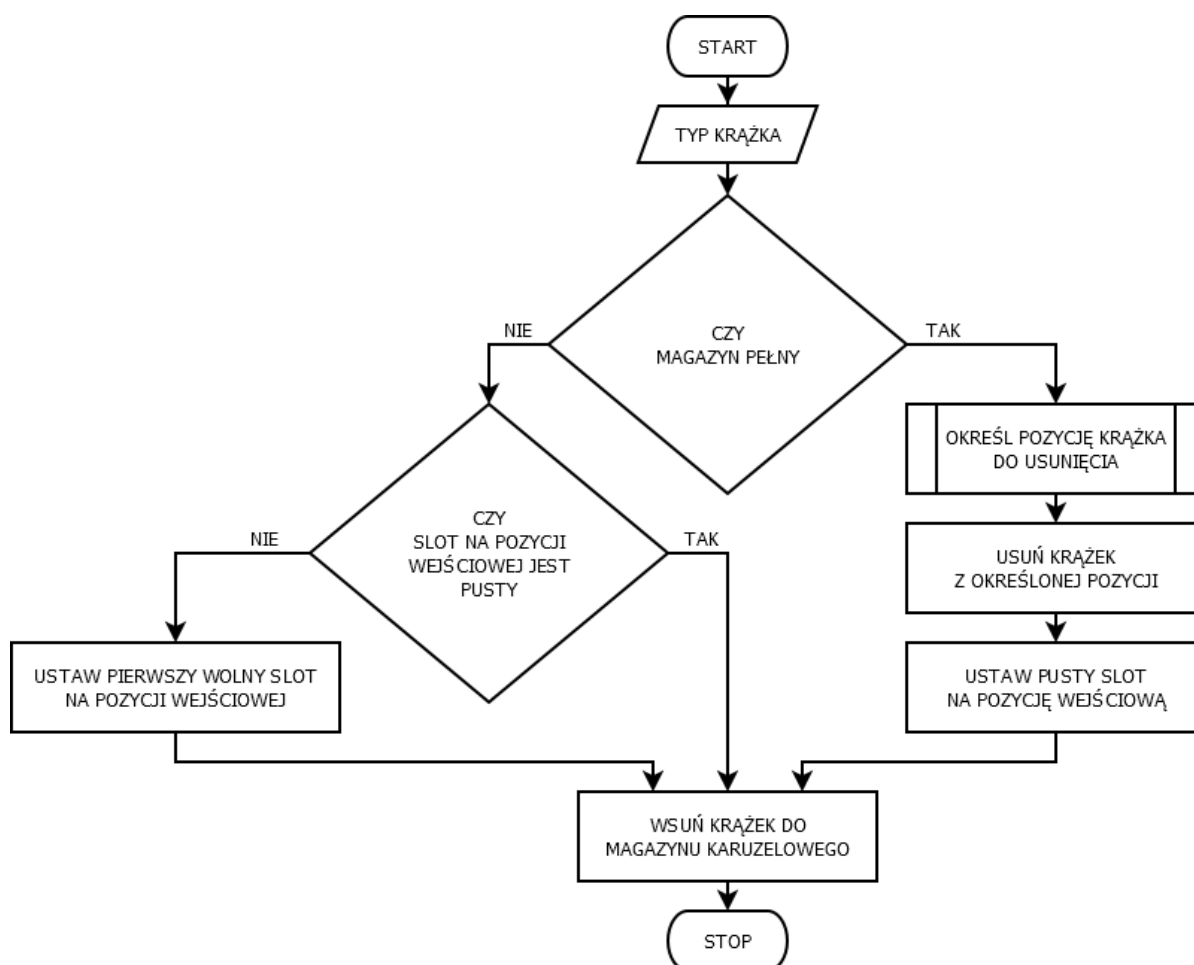
Rys. 7. Zmienność pozycji slotów względem wejścia lub zapadki

Warto zauważyć, że w sterowniku zapisana jest informacja o tym jakiego typu krążki umieszczone są w poszczególnych slotach oraz jaki jest numer slotu znajdującego się na wejściu magazynu. W pierwotnym algorytmie brakowało informacji o aktualnym położeniu dowolnego slotu względem pozycji wyjściowej z magazynu (zapadki). Był to jeden z kluczowych problemów jaki został rozwiązany w trakcie prac nad algorytmem. Z uwagi na powyższe spostrzeżenia wprowadzono pojęcie bezwzględnej pozycji magazynowej. Jest to pozycja najbliższa zapadki, której przypisano numer 1. Każdej kolejnej pozycji przypisano numery w zależności od odległości danego slotu od zapadki. I tak numery 2 i 3 przypisuje się pozycjom sąsiadującym z pozycją 1. Najbardziej oddalona pozycja ma numer 6. W ten sposób nadano priorytety zwalniania poszczególnych slotów magazynu, aby minimalizować drogę pokonywaną przez wyrzucany krążek (założenie 4).



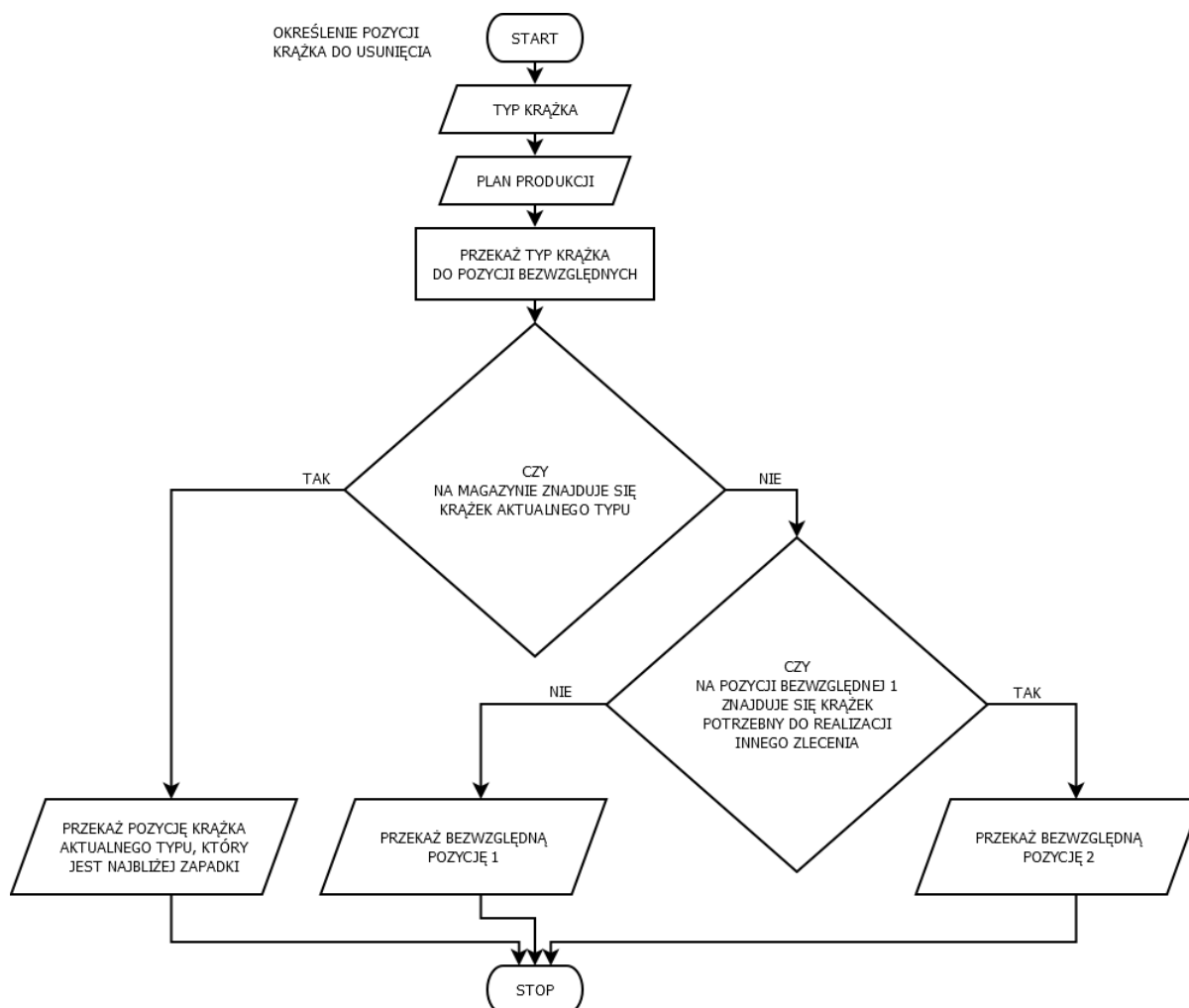
Rys. 8. Sposób numeracji slotów wykorzystywany w nowym algorytmie obsługi magazynu karuzelowego. a) stary sposób numeracji b) nowy sposób numeracji

Jeżeli w magazynie znajduje się przynajmniej jeden krążek tego samego typu, co krążek czekający na umieszczenie, zostanie wyrzucony krążek tego samego typu, znajdujący się najbliżej zapadki (optymalizacja czasu i energii obsługi). W przypadku, gdy w magazynie nie ma krążka tego samego typu co krążek, który ma zostać umieszczony w magazynie, algorytm działa dwustopniowo. Sprawdza czy na pozycji najbliższej zapadki znajduje się górny krążek innego zlecenia. Jeżeli tak, to zostanie wyrzucony krążek z pozycji następnej (warunek zachowania co najmniej jednego krążka, założenie 2). Jeżeli nie, to zostanie wyrzucony krążek z pozycji najbliższej zapadki. Schemat algorytmu przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Schemat blokowy zmodyfikowanego algorytmu obsługi magazynu karuzelowego

Schemat blokowy (rys. 9) zawiera algorytm określania pozycji krążka wybranego do usunięcia z magazynu. Wybór odpowiedniego, spełniającego założenia, krążka do usunięcia dokonywany jest wg schematu przedstawionego na rysunku 10. Kryterium optymalności to minimalizacja czasu i energii przy usuwaniu krążków z magazynu.

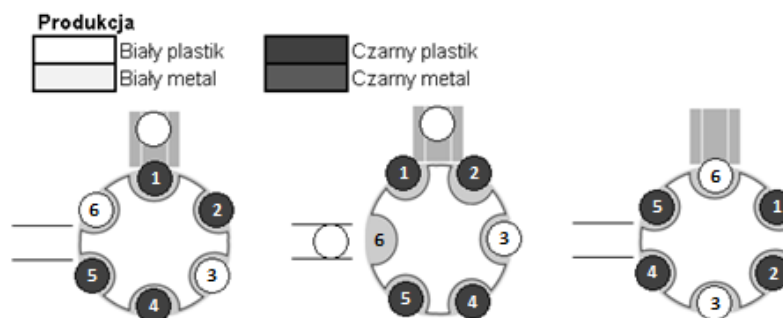


Rys. 10. Algorytm określenia numeru pozycji magazynu, z której krążek jest usuwany

Algorytm przedstawiony na rysunku 10. gwarantuje spełnienie przyjętych założeń. Działa on następująco: po identyfikacji koloru i materiału krążka znajdującego się na pozycji wejściowej do magazynu oraz harmonogramu i aktualnego stanu produkcji oraz aktualnego położenia magazynu, początkowa numeracja slotów jest transformowana na numerację bezwzględną (rys. 8). Poszczególnym pozycjom bezwzględnym jest przekazywany odpowiedni typ krążka z początkowej numeracji. Następnie algorytm sprawdza, czy w którymkolwiek slotcie znajduje się krążek tego samego typu jak krążek na pozycji wejściowej. Jeśli tak, to wyrzucony zostanie krążek tego typu znajdujący się najbliżej zapadki. Jeśli nie, sprawdza się, czy na pozycji bezwzględnej 1 znajduje się krążek potrzebny w innym zleceniu. Jeśli tak, to wyrzucany jest krążek na bezwzględnej pozycji 2 (spełnienie założenia nr 2), jeśli nie, wyrzuca się krążek z pozycji bezwzględnej 1. Oznacza to, że krążek do usunięcia z magazynu został wybrany zgodnie z założeniami.

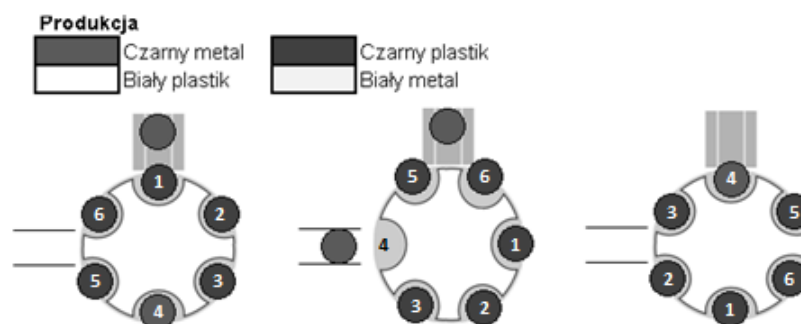
3. Przykłady działania algorytmu

Poniższe przykłady obrazują obecne działanie magazynu karuzelowego.
 Przykład 1: Magazyn karuzelowy jest pełny. Na pozycji 3 i 6 znajdują się krążki plastikowe koloru białego, na pozostałych plastikowe koloru czarnego. W magazynie ma zostać umieszczony krążek biały plastikowy. Aby było to możliwe z magazynu zostanie wyrzucony krążek z pozycji 6. Pozycja została wybrana ponieważ jest najbliższej zapadki oraz znajdował się na niej krążek tego samego typu, który czeka na umieszczenie w magazynie.



Rys. 11. Kolejne kroki działania magazynu w przykładzie 1

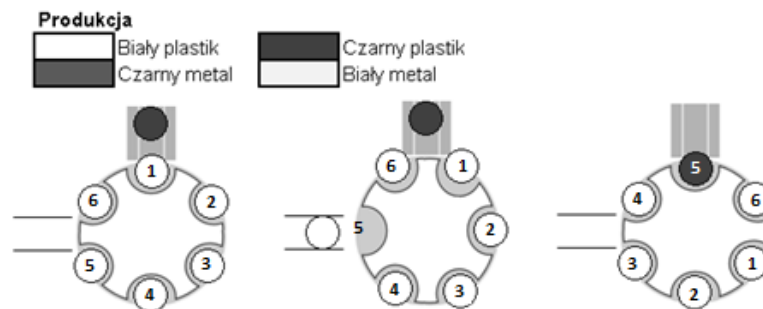
Przykład 2: Magazyn karuzelowy jest zapełniony. Na pozycji 4 znajduje się krążek plastikowy czarny, na pozostałych metalowe koloru czarnego. W magazynie ma zostać umieszczony krążek czarny plastikowy. By było to możliwe z magazynu zostanie usunięty krążek z pozycji 4. Pozycja została wybrana ponieważ znajdował się na niej krążek tego samego typu, który czeka na umieszczenie w magazynie. Wymiana 1:1.



Rys. 12. Kolejne kroki działania magazynu w przykładzie 2

Przykład 3: Magazyn karuzelowy jest pełny. Na wszystkich pozycjach znajdują się krążki plastikowe koloru białego. W magazynie ma zostać umieszczony krążek czarny plastikowy. Aby było to możliwe z magazynu zostanie wyrzucony krążek z pozycji 5. Pozycja ta została wybrana ponieważ po pozycji 6 jest najbliższej zapadki. Pozycja 6 została zignorowana, aby zapewnić przynajmniej jeden krążek plastikowy biały dla procesu produkcyjnego (założenie 2). W tym przykładzie krążek biały plastikowy na pozycji 5 zostanie zastąpiony krążkiem czarnym plastikowym. Dzięki umożliwieniu

zmiany koloru w algorytmie wyeliminowano możliwość „zapchania się” magazynu krążkami jednego typu (założenie 3).



Rys. 13. Kolejne kroki działania magazynu w przykładzie 3

3. Podsumowanie i wnioski

Podczas analizy pracy stanowiska zauważono, że przyjęte przez wykonawcę stanowiska założenia programu obsługi magazynu karuzelowego nie są optymalne i w przypadku całkowitego zapełnienia magazynu następuje zatrzymanie produkcji, co uznano za niedopuszczalne i podjęto decyzję o przeprogramowaniu sterownika Mitsubishi w sposób likwidujący problem.

Podjęte działania obejmowały:

- analizę sytuacji prowadzących do całkowitego zapełnienia magazynu,
- przyjęcie założeń odnośnie algorytmu działania magazynu,
- analizę kodu źródłowego sterownika,
- ocenę możliwości usprawnienia algorytmu oraz weryfikację możliwości realizacji przyjętych założeń,
- opracowanie i implementację nowego algorytmu,
- testy i poprawki algorytmu.

W efekcie algorytm działania stanowiska został poprawiony i rozbudowany, na czym zyskała elastyczność systemu produkcyjnego. Po modyfikacjach produkcja może odbywać się bez przestojów niezależnie od stanu magazynu wejściowego, a dokładniej mówiąc kolejności i rodzaju krążków znajdujących się w magazynie grawitacyjnym. Dzięki wprowadzonym zmianom została usunięta konieczność interwencji operatora po zastopowaniu produkcji na skutek całkowitego zapełnienia magazynu karuzelowego. Utrudnieniem w realizacji był sposób zaprojektowania pierwotnego algorytmu, który uniemożliwiał dostęp, z poziomu sterownika, do niektórych informacji niezbędnych do modyfikacji algorytmu.

Stanowisko elastycznego systemu produkcyjnego na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki, częściowo powstałe w wyniku kilkuletniej realizacji projektów PBL, jest unikalnym obiektem symulacyjno-badawczym pozwalającym na prowadzenie wszechstronnych testów różnych scenariuszy i harmonogramów produkcji. Dane zebrane podczas testów stanowią cenne źródło informacji o mechanizmach działania rzeczywistych elastycznych systemów produkcyjnych oraz pozwalają wyciągać wnioski prowadzące do modyfikacji i usprawniania systemu, a w dalszej perspektywie przenoszenie tych usprawnień na rzeczywiste systemy, na których podobne testy są trudne do przeprowadzenia ze względów ekonomicznych.

Stanowisko, oprócz możliwości prowadzenia badań naukowych, stanowi również doskonały obiekt dydaktyczny, do wykorzystania na laboratoriach, w działalności kół naukowych, czy też przy tworzeniu prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich.

Praca częściowo finansowana ze środków przewidzianych na BK-213/RAu1/2016, temat 6.

LITERATURA

1. Browne J., Dubois D., Rathmill K., Sethi S. P., Stecke K.E.: Classification of flexible manufacturing systems. The RMS Magazine, 4, 1984, p. 114-117.
2. ElMagarchy H.A.: Flexible and reconfigurable manufacturing systems paradigms. Int J Flex Manuf Syst, 2006, Vol.17, p.261-276.
3. Krystek J.: Komputerowo wspomagane projektowanie dydaktycznego, modułowego, elastycznego systemu produkcyjnego. Mechanik 2015 R. 88 nr 7, s. 443-452, CD-ROM.
4. Krystek J.: Modułowy model elastycznego systemu produkcyjnego. Logistyka 2015 nr 2, dysk optyczny (CD-ROM) s. 445-453.
5. Krzyżanowski J.: Wprowadzenie do elastycznych systemów wytwórczych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
6. Kuzgunkaya O., ElMagarchy H.A.: Economic and strategic on investing in RMS and FMS. Int J Flex ManufSyst, 2007, Vol.19, p.217-246.
7. Savsar M.: Performance Analysis of an FMS Operating Under Different Failure Rates and Maintenance Policies. Int J Flex ManufSyst, 2005, Vol.16, p.229-249.
8. Sawik T.: Optymalizacja dyskretna w elastycznych systemach produkcyjnych. WNT, Warszawa 1992, s. 163-189.
9. Sawik T.: Planowanie i sterowanie produkcji w elastycznych systemach montażowych, WNT Warszawa 1996.
10. Stecke K.E., Kim I.: A study for FMS part type selection approaches for short-term production planning. International Journal of Flexible Manufacturing Systems, vol.1, 1988, p.7-30.
11. Tolio T. (red): Design of Flexible Production Systems, Springer-Verlag, Berlin, 2009.