

Sara ALSZER, Jolanta KRYSTEK  
Politechnika Śląska

## MODELOWANIE ELASTYCZNEGO SYSTEMU PRODUKCYJNEGO W SYSTEMIE SCADA

**Streszczenie.** W artykule zwrócono uwagę na najważniejsze aspekty związane z wizualizacją procesów produkcyjnych. Na potrzeby pracy stworzono aplikację, przedstawiającą proces produkcji realizowany na dydaktycznym stanowisku elastycznego systemu produkcyjnego. Zaprezentowano i szczegółowo omówiono wybrane ekrany synoptyczne aplikacji. W artykule przybliżono również rolę magazynów buforowych w systemach produkcyjnych.

## MODELING A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM IN SCADA SYSTEM

**Summary.** This article highlights the most important aspects of the visualization of production processes. For the purpose of this paper we designed an application that shows the production process implemented on the laboratory stand of Flexible Manufacturing System. Selected synoptic screens of this application will be presented and discussed in detail. In addition, we introduce the role of buffer warehouses in production systems.

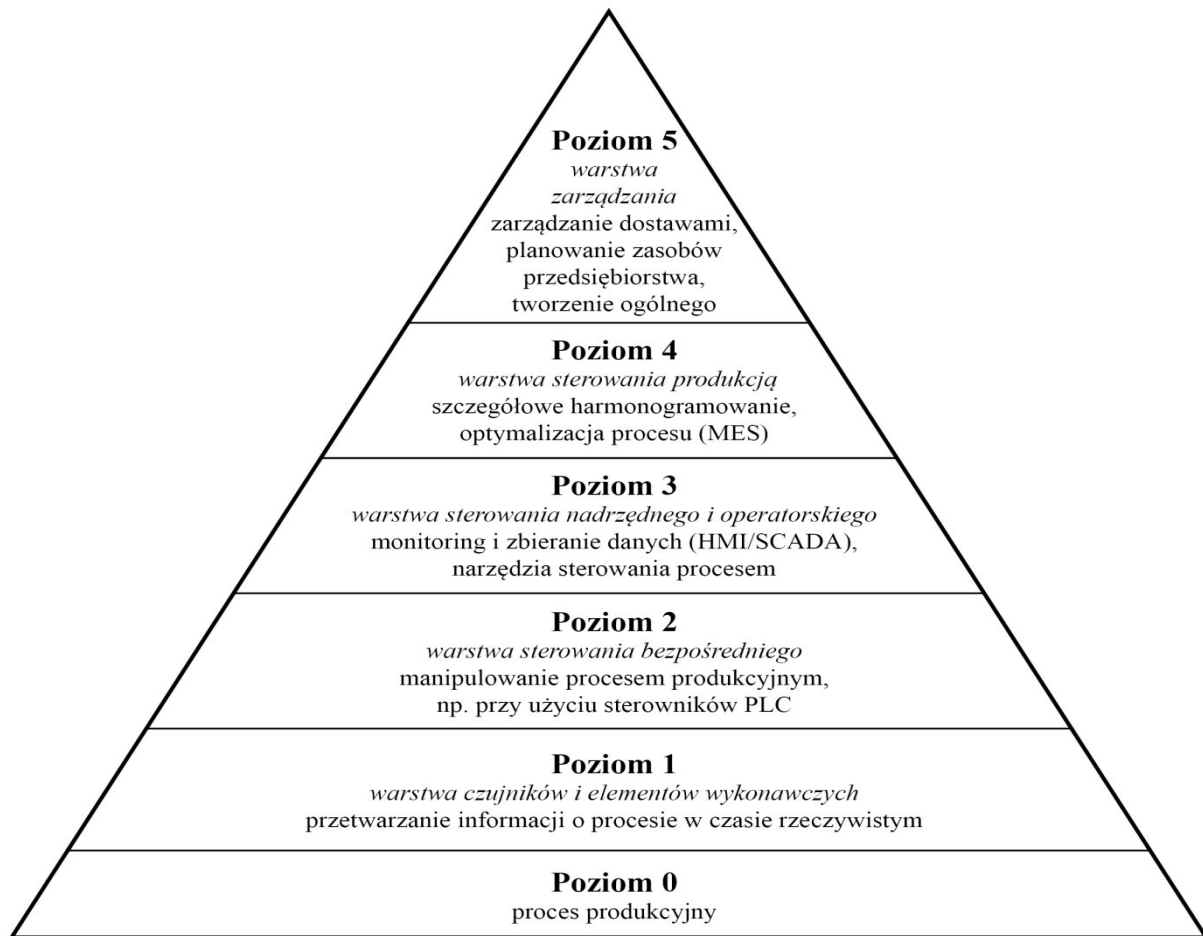
### 1. Wprowadzenie

W hierarchicznej strukturze planistycznej przedsiębiorstwa decyzje generowane w warstwach nadrzędnych podejmowane są na podstawie raportów i informacji pochodzących z różnych systemów informatycznych, działających w warstwach podrzędnych. Wszystkie obszary powstawania i przetwarzania informacji w ramach struktury organizacyjnej i procesów produkcyjnych przedsiębiorstwa są poddawane analizie. Jakość podejmowanych decyzji zależy od tego, czy mamy dostęp do aktualnych informacji, a to jest związane z integracją systemów informatycznych odpowiedzialnych za poszczególne procesy.

### 2. Charakterystyka systemów SCADA

Prawidłowy przepływ aktualnych informacji na każdym poziomie struktury systemu produkcyjnego stanowi podstawę prawidłowego funkcjonowania wszystkich maszyn i urządzeń tworzących ten system. Bieżąca akwizycja i przetwarzanie danych są niezbędne dla właściwego sterowania procesem, a także mają istotne znaczenie dla

procesów diagnostycznych oraz procesów wspomaganie podejmowania decyzji na poszczególnych szczeblach zakładu produkcyjnego (rys. 1.).



Rys. 1. Poziomy struktury sterowania i zarządzania procesem

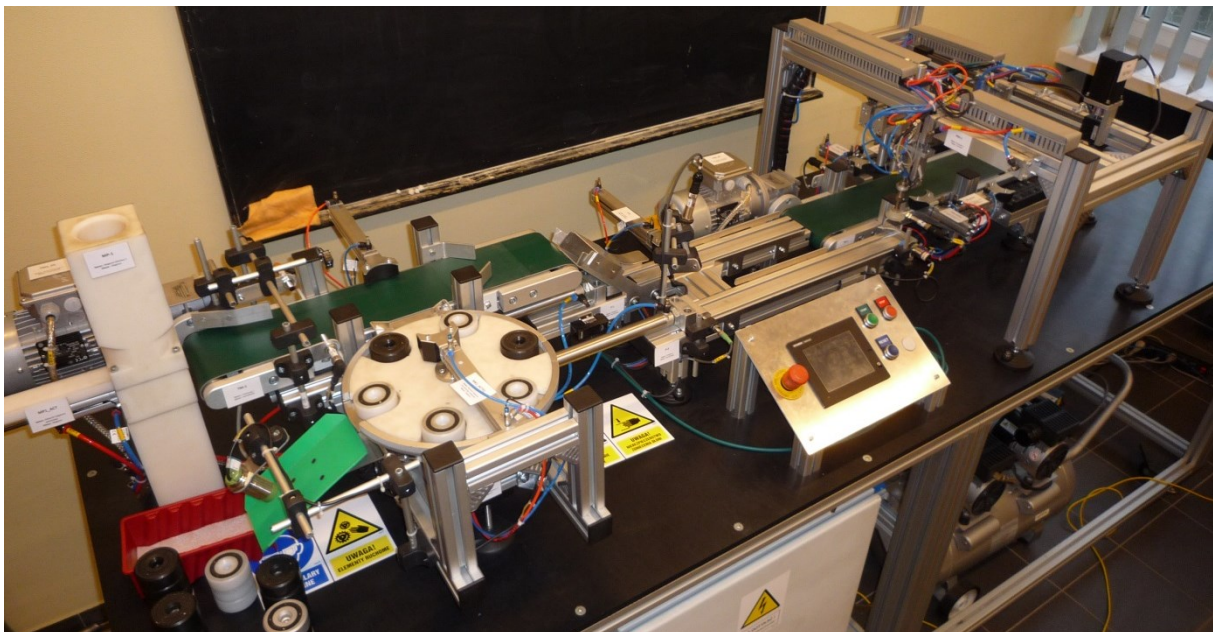
Źródło: opracowanie własne

Łącznikiem w transferze danych, między warstwą najniższą (warstwą czujników i urządzeń) a warstwą wyższą (warstwą sterowania produkcją i harmonogramowania), są systemy SCADA.

System SCADA (ang. *Supervisory Control and Data Acquisition*) to rodzaj oprogramowania przemysłowego, należący do warstwy sterowania nadrzędnego i operatorskiego systemu sterowania automatyki przemysłowej [4]. Głównym przeznaczeniem systemów kontroli i akwizycji danych jest wizualizacja systemu produkcyjnego oraz monitorowanie i nadzorowanie przebiegu procesów technologicznych za pośrednictwem ekranów synoptycznych. Ułatwia to pracę inżynierom produkcji, a także przyczynia się do zwiększenia szybkości reakcji w razie wystąpienia awarii [1]. Funkcje realizowane przez systemy SCADA obejmują również zadania: alarmowania, archiwizacji długo- i krótkoterminowej, raportowania oraz zbierania bieżących pomiarów ze sterowników PLC oraz urządzeń pomiarowych [8]. Informacje zgromadzone i przetworzone przez systemy kontroli i akwizycji danych kierowane są następnie do warstwy systemów nadrzędnych, jak np. MES (ang. *Manufacturing Execution System*) czy ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*).

Możliwości zastosowania systemów SCADA oraz szeroki zakres funkcji, jakie oferują, sprawiają, że systemy te wykorzystywane są zarówno w małych przedsiębiorstwach, do projektowania prostych aplikacji, jak i w dużych zakładach produkcyjnych z rozbudowanymi instalacjami, a także na potrzeby edukacyjne.

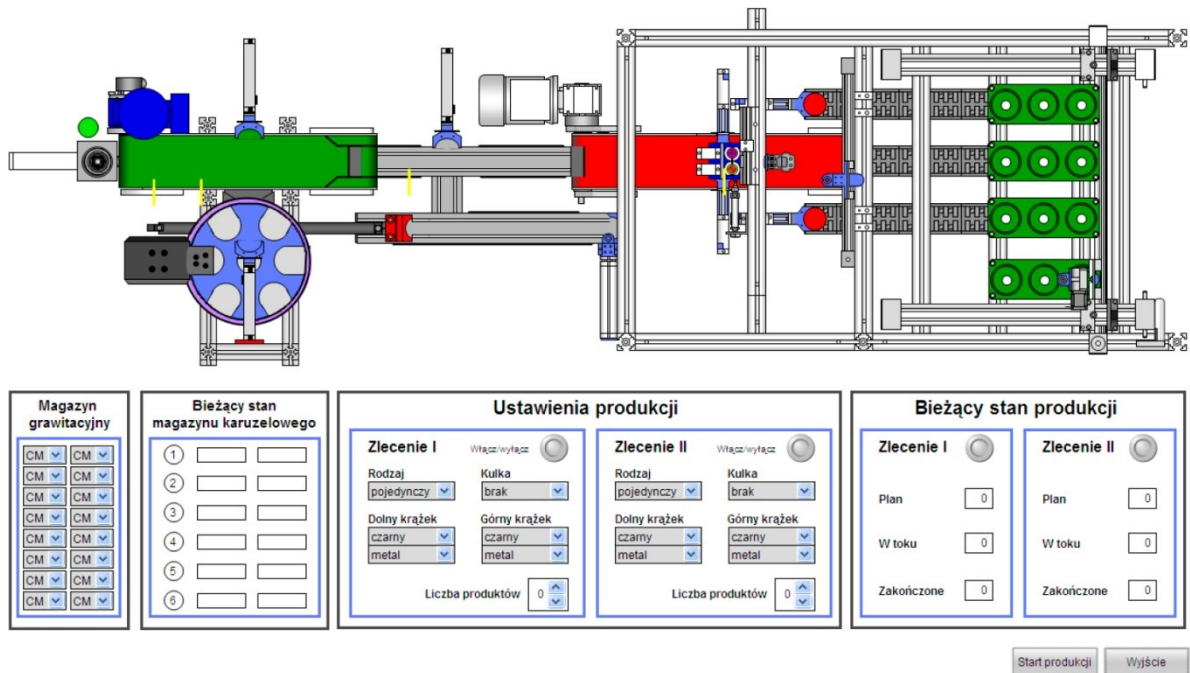
W celach dydaktycznych zaprojektowany został przejrzysty i intuicyjny w obsłudze system SCADA o nazwie *ESP*. Aplikacja pozwala na symulację działania modułowego, elastycznego systemu produkcyjnego [3] (rys. 2.), znajdującego się w Laboratorium Elastycznych Systemów Produkcyjnych na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki. Na stanowisku realizowana jest produkcja **wielosortymentowa**. Produkcja **wielosortymentowa** umożliwia jednocześnie wytwarzanie krótkich serii wyrobów wzdłuż określonych marszrut technologicznych. Wyrobem finalnym jest jeden z 52 zestawów krążków z opcjonalnym wyposażeniem w znacznik, który jest dostępny w dwóch wersjach: kulka mała lub duża. Wykorzystywane w tym projekcie krążki wielokrotnego użytku, są wykonane z aluminium lub plastiku i występują w różnych kolorach.



Rys. 2. Obiekt badawczy

## 2. Wizualizacja i symulacja pracy dydaktycznego, modułowego, elastycznego systemu produkcyjnego

Ekran główny aplikacji *ESP* (rys. 3.) został zaprojektowany w taki sposób, aby na jednym ekranie synoptycznym przedstawiony został analizowany system produkcyjny. Zasadnicza część ekranu przedstawia wizualizację działania stanowiska badawczego. Na ekranie, w jego dolnej części, znajduje się również zestaw obiektów pozwalających na komunikację z operatorem w zakresie: zadawania parametrów produkcji, śledzenia aktualnego stanu produkcji, stanu magazynu wejściowego oraz stanu magazynu karuzelowego.



Rys. 3. Ekran główny aplikacji *ESP*. Źródło: opracowanie własne

## 2.1. Zadawanie parametrów produkcji

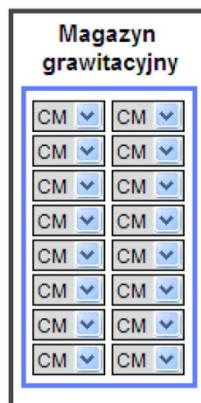


Rys. 4. Panel *Ustawienia produkcji*. Źródło: opracowanie własne

Panel *Ustawienia produkcji*, który przeznaczony jest do zadawania parametrów produkcji, umieszczono w dolnej, środkowej części ekranu głównego. Istnieje możliwość zaplanowania realizacji jednego bądź dwu zleceń produkcyjnych (przycisk *Włącz/wyłącz*) i zdefiniowania wyrobu finalnego dla każdego zlecenia (jednego z 52 zestawów). Dla każdego zlecenia należy ponadto określić liczbę produktów głównych, które powinny zostać wyprodukowane (plan produkcyjny). Wszystkie pozostałe parametry zadane definiowane są za pomocą obiektów typu *Combobox*.

Użytkownik, przed rozpoczęciem procesu produkcji, w polu *Rodzaj* powinien wybrać jeden z dostępnych wariantów produktów końcowych. Produkt główny może składać się z pojedynczego krążka (*Rodzaj: pojedynczy*) bądź z dwóch krążków (*Rodzaj: podwójny*). Pole *Kulka* przeznaczone jest natomiast do określenia, czy produkt główny będzie wyposażony w znacznik (kulkę umieszczoną na górnym krążku). Pole to daje możliwość wyboru jednej z trzech opcji: *brak, mała, duża*. Kolor i materiał poszczególnych krążków (dolnego i górnego) produktu głównego definiowany jest w polach oznaczonych jako *Dolny krążek* oraz *Górny krążek* (rys. 4.).

Za pomocą obiektów typu *Combobox*, umieszczonych w obszarze panelu *Magazyn grawitacyjny*, istnieje możliwość wskazania typu krążków, które powinny być umieszczone w wejściowym magazynie grawitacyjnym (rys. 5.).



Rys. 5. Panel *Magazyn grawitacyjny* – przykładowe ustawienie. Źródło: opracowanie własne

Pierwszy obiekt, w pierwszej kolumnie, przeznaczony jest do określenia typu pierwszego krążka (położonego najniższej), drugi obiekt drugiego krążka itd. Pierwszy obiekt, w drugiej kolumnie, przeznaczony jest do określania typu dziewiątego krążka, drugi dziesiątego itd. – numeracja krążków zwiększa się od góry do dołu w danej kolumnie obiektów *Combobox*. Zastosowana nomenklatura:

- CM – czarny, metal;
- CP – czarny, plastik;
- BM – biały, metal;
- BP – biały, plastik.

## 2.2. Monitoring stanu produkcji

Panel *Bieżący stan produkcji*, przeznaczony do monitorowania pracy systemu produkcyjnego, znajduje się w dolnej, prawej części ekranu głównego. Panel ten, podobnie jak panel *Ustawienia produkcji*, został podzielony na dwa obszary – w każdym z obszarów przedstawione są aktualne informacje dotyczące poszczególnych zleceń produkcyjnych. Informacje wyświetlane na ekranie pozwalają na śledzenie postępów produkcyjnych (*W toku*), kontrolowanie liczby wyprodukowanych krążków (*Zakończone*) oraz na porównanie bieżącego stanu produkcji z zadanymi wartościami parametrów (*Plan*). Lampki umieszczone



w prawym, górnym rogu każdego pola informacyjnego dla zleceń sygnalizują, które ze zleceń jest aktywne (rys. 6.).

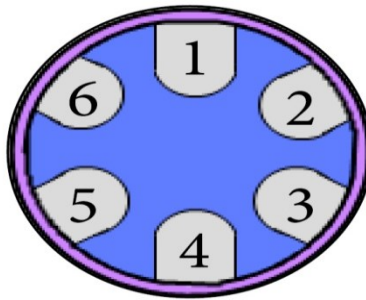
Bieżący stan produkcji			
<b>Zlecenie I</b>			
Plan	<input type="text" value="6"/>	Plan	<input type="text" value="2"/>
W toku	<input type="text" value="5"/>	W toku	<input type="text" value="1"/>
Zakończone	<input type="text" value="3"/>	Zakończone	<input type="text" value="1"/>

Rys. 6. Panel *Bieżący stan produkcji*. Źródło: opracowanie własne

## 2.2. Monitoring stanu magazynu karuzelowego

Panel *Bieżący stan magazynu karuzelowego* (rys. 7.), umieszczony pod buforem magazynowym, pozwala na śledzenie zmian zapelnienia bufora oraz dostarcza informacji na temat typów krążków znajdujących się na jego poszczególnych pozycjach. W okręgach zaznaczono numery kolejnych pozycji magazynu karuzelowego, w pierwszej kolumnie panelu wyświetlany jest kolor krążka znajdujący się na danej pozycji, natomiast w kolumnie drugiej materiał, z którego krążek na tej pozycji został wykonany. W przypadku braku krążka, w obu kolumnach danego wiersza wyświetlany jest napis *brak*. Przed uruchomieniem aplikacji wszystkie wiersze są puste, co przedstawione zostało na ekranie głównym aplikacji ESP (rys. 3.).

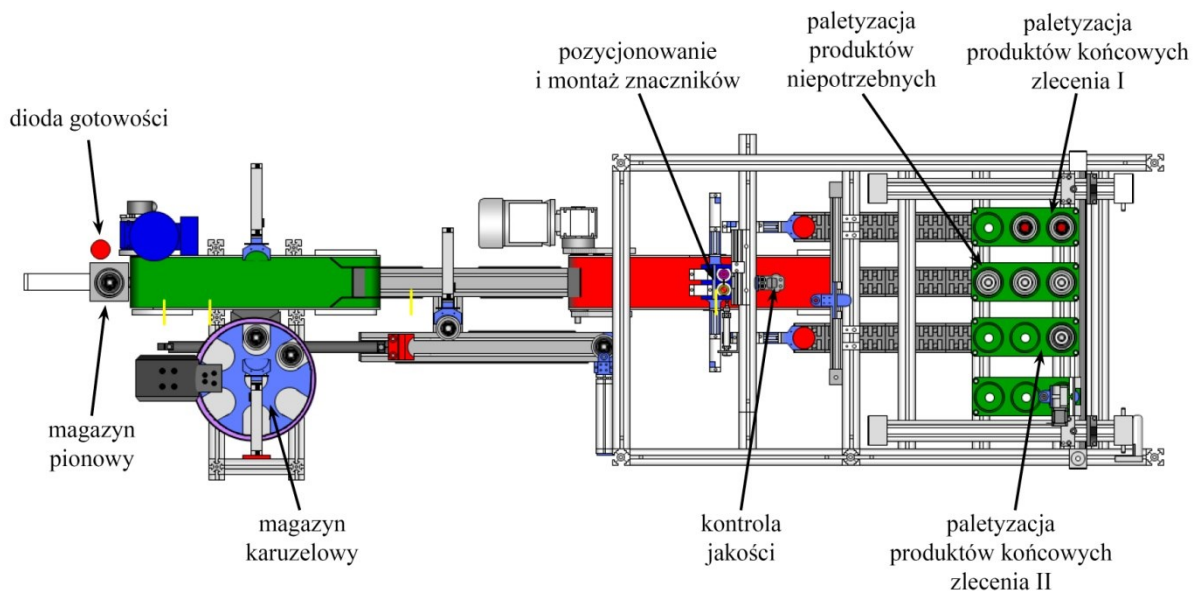
Bieżący stan magazynu karuzelowego		
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="czarny"/>	<input type="text" value="metal"/>
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="czarny"/>	<input type="text" value="metal"/>
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="brak"/>	<input type="text" value="brak"/>
<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="brak"/>	<input type="text" value="brak"/>
<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="brak"/>	<input type="text" value="brak"/>
<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="brak"/>	<input type="text" value="brak"/>



Rys. 7. Panel *Bieżący stan magazynu karuzelowego* oraz numeracja pozycji magazynu karuzelowego. Źródło: opracowanie własne

### 2.3. Symulacja pracy systemu produkcyjnego

W celu uruchomienia symulacji należy wykonać kolejno następujące zadania: zdefiniować parametry i wartości zadane dla poszczególnych zleceń, aktywować wybrane zlecenie bądź oba zlecenia, określić typy krążków w magazynie karuzelowym i zaakceptować je przyciskiem *Start produkcji*. Jeżeli zlecenie będzie aktywowane przed ustawieniem parametrów produkcji, przyjęte zostaną parametry domyślne: pojedynczy, metalowy krążek w kolorze czarnym, bez znacznika oraz liczba produktów równa 0. W efekcie wszystkie krążki z magazynu grawitacyjnego zostaną skierowane na alternatywny taśmociąg rolkowy, gdzie gromadzone są krążki niewykorzystywane w produkcji.



Rys. 8. Przykładowa symulacja działania systemu ESP

Zródło: opracowanie własne

Częstotliwość podawania krążków z magazynu wejściowego na linię produkcyjną zależna jest od operatora – wypchnięcie krążka następuje po uruchomieniu siłownika, znajdującego się przed magazynem grawitacyjnym, o ile dioda gotowości (rys. 8.) świeci się na zielono. W przeciwnym wypadku wypchnięcie krążka nie jest możliwe.

Pionowymi liniami w kolorze żółtym oznaczone zostały czujniki. Działanie czujnika sygnalizowane jest za pomocą animacji kolorystycznej – jeśli krążek znajdzie się w obszarze czujnika, kolor linii zmienia się na pomarańczowy. Na rysunku 8. pokazano stan przykładowej symulacji .

### 3. Rola magazynu buforowego w systemie produkcyjnym

Magazyny buforowe są często stosowanymi, w celu zapewnienia ciągłości produkcji, elementami procesów produkcyjnych. Mogą występować w postaci fizycznych urządzeń przeznaczonych do pracy w systemie „towar do człowieka”. Ich główne przeznaczenie to magazynowanie komponentów, części zamiennych, narzędzi

i wielu innych. Urządzenia te znajdują szerokie zastosowanie: magazyny, linie produkcyjne, centra dystrybucyjne, hurtownie, a także można je wykorzystywać do archiwizacji dokumentów w biurze.

Bardzo często w systemach produkcyjnych mamy do czynienia z planowaniem produkcji w warunkach ograniczonych zasobów produkcyjnych. Wszystkie te ograniczenia (wąskie gardła) muszą być wzięte pod uwagę przy tworzeniu harmonogramu produkcji. Przy planowaniu warto wspomóc się Teorią Ograniczeń [2], która dostarcza wiedzy umożliwiającej racjonalne wykorzystanie dostępnych zasobów. Wiedza ta pozwala wykryć ograniczenia występujące w systemie produkcyjnym oraz skutecznie nimi zarządzać w celu zwiększenia wydajności takiego systemu. Teoria Ograniczeń jest fundamentem algorytmu Drum–Buffer–Rope (DBR). Jednym z elementów tego algorytmu jest Bufor (ang. *Buffer*), którego zadaniem jest zapewnienie stabilnego przepływu. Bufor umieszczany jest przed „wąskim gardłem” (ang. *constraint buffer*) oraz stanowiskiem montażu (ang. *assembly buffer*) [7]. Istnieją dwa rodzaje buforów:

- czasowy (materiał dla „wąskiego gardła” oraz stanowiska montażu dostarczany jest z wyprzedzeniem),
- ilościowy (przed zasobem krytycznym oraz stanowiskiem montażu znajduje się określona ilość materiału, który ma zostać przetworzony na tym stanowisku).

### 3.1. Specyfika magazynu buforowego w dydaktycznym systemie produkcyjnym

Magazyn karuzelowy w modułowym, elastycznym systemie produkcyjnym pełni rolę magazynu buforowego, do którego kierowane są krążki aktualnie niepotrzebne w produkcji. Dopiero w chwili, gdy krążek umieszczony w magazynie będzie potrzebny w produkcji, ta sama część bądź komponent tego samego typu zostanie przywrócony z magazynu na linię produkcyjną. W celu przywrócenia krążka magazyn karuzelowy musi obrócić się tak, by element przywracany znalazł się na tzw. pozycji dostępowej, czyli jedynej pozycji, z której część, za pomocą siłownika, może zostać umieszczona z powrotem na linię produkcyjną. Jeśli natomiast magazyn zostanie całkowicie wypełniony, bufor musi obrócić się do takiej pozycji, w której krążek przeznaczony do usunięcia osiągnie tzw. pozycję zrzutu. Podczas przemieszczania się, w celu osiągnięcia pozycji dostępowej bądź zrzutowej, jednocześnie poruszają się wszystkie pozostałe pozycje magazynu. Kierunek ruchu zależy od długości drogi do pokonania przez komponent przeznaczony do usunięcia. Zgodnie z tą strategią zapada również decyzja o przywróceniu do produkcji albo przywoływanego komponentu, albo jego zastępnika. Algorytm wyboru krążka do usunięcia jest strategią dedykowaną dla rozpatrywanego systemu i ma na celu optymalizację czasu obsługi magazynu.

### 3.2. Specyfika magazynu buforowego w rzeczywistym systemie produkcyjnym

Przykładem rzeczywistego systemu produkcyjnego, wyposażonego w magazyny buforowe jest linia produkcyjna samochodów, składająca się zasadniczo z trzech oddziałów: spawalni, lakierni i montażowni. W początkowej fazie produkcji, w oddziale spawalni, następuje spawanie poszczególnych fragmentów karoserii

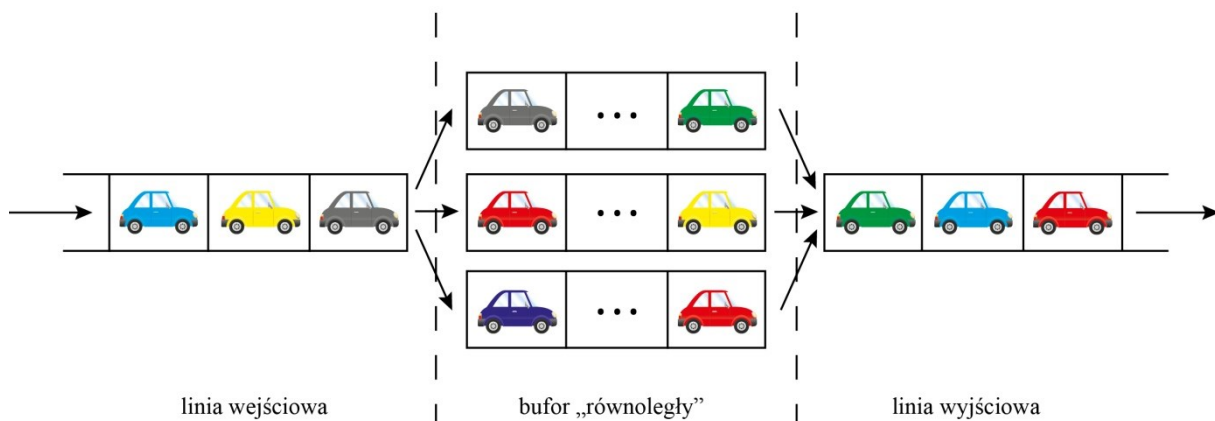


pojazdu tak, by powstała odpowiednia struktura samochodu. Następnie części zespolone w jedną całość kierowane są do oddziału lakierni, gdzie znajdują się roboty wyposażone w dysze, i tam też następuje ich malowanie. W celu zmniejszenia kosztów i czasu produkcji, proces wytwarzania samochodów planowany jest w taki sposób, by zminimalizować liczbę przebrojeń robotów lakierniczych. W związku z tym już na wyjściu z oddziału spawalni pojazdy są ułożone w konkretnej kolejności, zależnie od tego, na jaki kolor były malowane. W ostatnim oddziale – montażowni, mają miejsce procesy, w ramach których w samochodzie montowane są wymagane komponenty, adekwatnie do wybranego zestawu opcji [6]. Każda z konfiguracji może cechować się innym kolorem i innym zestawem komponentów. Tym samym kolejność samochodów wprowadzanych do oddziału montażowni również jest z góry narzucona – uszeregowanie pojazdów powinno zapewnić równomierne obciążenie stacji roboczych na linii montażowej. Problem zaplanowania produkcji samochodów, mając na uwadze redukcję kosztów, jak i czasów przebrojeń maszyn i robotów oraz poprawę wydajności linii, zdefiniowano w literaturze jako problem sekwencjonowania samochodów (ang. *Car Sequencing Problem – CSP*) [5].

Optymalizacja procesu produkcyjnego wymusza z kolei zastosowanie na linii produkcyjnej magazynów buforowych, umożliwiających zmianę sekwencji samochodów przed i za poszczególnymi oddziałami systemu produkcyjnego, oraz w ramach danego oddziału. Wyróżnia się trzy główne typy buforów wykorzystywane w procesie produkcji samochodów [5]:

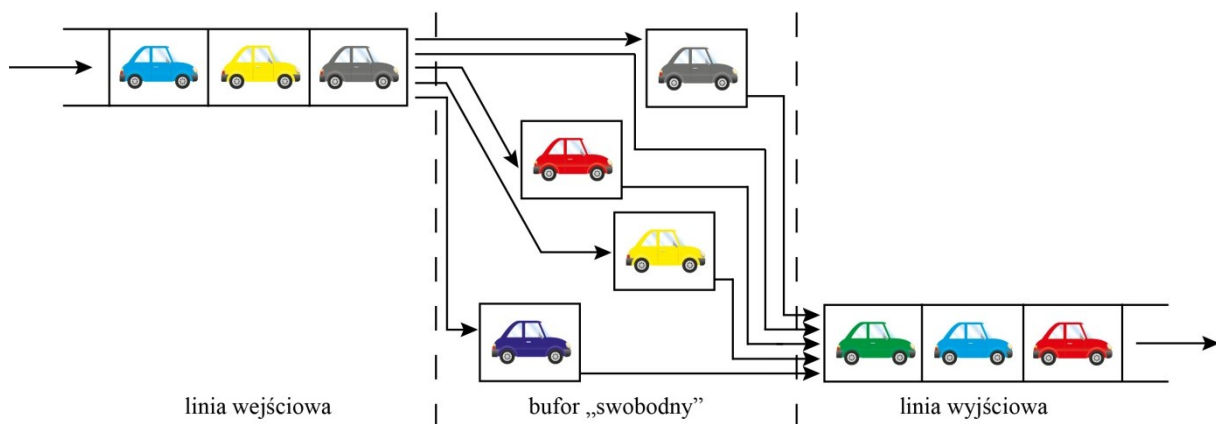
- bufory równoległe,
- bufory „swobodne”,
- bufory karuzelowe.

Wykorzystując strukturę z buforem „równoległym”, przedstawioną na rysunku 9., decyzja o skierowaniu pojazdu na dany bufor podejmowana jest na końcu linii wejściowej. Z kolei linia wyjściowa uzupełniana jest sukcesywnie pojazdami z wybranego bufora, zgodnie z przyjętym priorytetem, np. strategią FIFO (ang. *First In – First Out*).



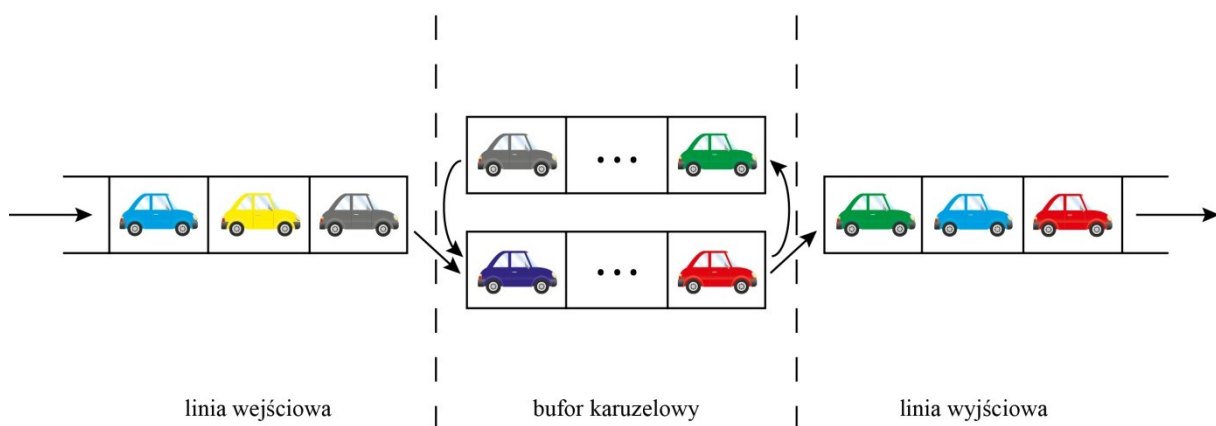
Rys. 9. Struktura z buforem „równoległym”  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

Bufor „swobodny” (rys. 10.) zapewnia swobodny dostęp do części magazynowanych, to znaczy, że struktura tego typu daje możliwość przekierowania na linię wyjściową dowolnego pojazdu znajdującego się w buforze.



Rys. 10. Struktura z buforem „swobodnym”  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

Bufory karuzelowe (rys. 11.) wykorzystywane są przeważnie za oddziałem montażowni, gdzie następuje sprawdzenie, czy elementy wyposażenia samochodu zostały prawidłowo zamontowane. Jeśli kontrola wykáže nieprawidłowości w montażu, pojazd umieszczany jest w karuzeli. Kolejno pobierany jest z magazynu, naprawiany i ponownie lokowany w buforze, z którego może zostać przywrócony na linię produkcyjną. Zasada działania bufora karuzelowego w rzeczywistym systemie produkcyjnym jest analogiczna do funkcjonowania magazynu przedstawionego w ramach dydaktycznego systemu produkcyjnego.



Rys. 11. Struktura z buforem karuzelowym  
Źródło: opracowanie własne na podstawie [5]

#### 4. Podsumowanie

Jednym z najistotniejszych wymagań stawianych systemom współczesnej automatyki przemysłowej jest możliwość skutecznego nadzorowania, gromadzenia i przejrzystego prezentowania danych pochodzących z obiektów technologicznych, zapewniając tym samym funkcjonowanie spójnego systemu zarządzania zasobami produkcyjnymi. W tym celu szeroko wykorzystywane są systemy typu SCADA (ang. *Supervisory Control And Data Acquisition*), których głównym zadaniem jest akwizycja danych z poszczególnych urządzeń, wizualizacja ich parametrów, a także bezzwłoczne informowanie o wystąpieniu stanów alarmowych. Dodatkowym zastosowaniem tego typu systemów jest możliwość wypracowywania sygnałów sterujących, co ogranicza się jednak na ogół do podstawowego przesterowywania urządzeń wykonawczych lub odpowiednich reakcji na sygnał alarmowy. W celu modelowania i symulacji pracy stanowiska dydaktycznego elastycznego systemu produkcyjnego (MODESP), została utworzona aplikacja SCADA umożliwiająca zadawanie podstawowych parametrów produkcyjnych, śledzenie stanu pracy linii oraz postępów w produkcji krążków. Jednym z elementów konstrukcji stanowiska badawczego jest magazyn karuzelowy, pełniący rolę magazynu buforowego zapewniającego ciągłość produkcji w systemie. W artykule przedstawiono również trzy główne typy buforów wykorzystywane w rzeczywistym procesie produkcji samochodów.

*Praca finansowana ze środków przewidzianych na BK-213/RAu1/2016, temat 6  
oraz BKM/506/RAu1/2016, temat 18*

#### LITERATURA

1. Daneels A., Salter W.: What is SCADA? International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems. Trieste 1999, p. 339-343.
2. Goldratt E.: Cel: doskonałość w produkcji., Wyd. Werbel, Warszawa 2000.
3. Krystek J.: Projekt dydaktycznego, modułowego, elastycznego systemu produkcyjnego, Miesięcznik Naukowo-Techniczny, Mechanik 7/2014, str. 343-354/560, CD.
4. Metha B.R., Reddy Y.J.: Industrial Process Automation Systems. Design and Implementation. Butterworth–Heinemann, Oxford 2015, p. 237-300.
5. Prandtstetter M., Exact and heuristic methods for solving the car sequencing problem, MSc thesis, Vienna University of Technology, Institute of Computer Graphics and Algorithms, August 2005.
6. Ricardo J., Solving the Car Sequencing Problem from a Multiobjective Perspective M.Sc., Universidade Técnica de Lisboa, Lisbonne, 2007.
7. Schragenheim H., Dettmer W.: Simplified Drum-Buffer-Rope. A Whole System Approach to High Velocity Manufacturing, 2000, dostępny: [http://www.insyteconsulting.com/files/Web\\_Tools/Pull\\_Kanban\\_Systems/Simplified\\_Drum\\_Buffer\\_Rope.pdf](http://www.insyteconsulting.com/files/Web_Tools/Pull_Kanban_Systems/Simplified_Drum_Buffer_Rope.pdf).

8. Woźniak P., Naskręt P., Bojanowski W.: Monitoring maszyn i linii produkcyjnych w komputerowym wspomaganie produkcji. IX Konferencja odlewnicza Technical. 2006, str. 129-136.