

Patrik GRZNAR*, Dariusz PLINTA**

1

PRZEDSIĘBIORSTWA PRZYSZŁOŚCI

Streszczenie

Na początku XXI wieku zachodzą fundamentalne zmiany, które przeobrażają całe społeczeństwo. Zmiany te wpływają na wiele utrwalonych od dawna koncepcji produkcji. Rozdział przedstawia współczesne tendencje w zarządzaniu przedsiębiorstwami produkcyjnymi. W kolejnych podrozdziałach przedstawiono również najnowsze trendy w rozwoju przedsiębiorstw oraz zaprezentowano wybrane technologie, które tworzą ramy współczesnych technologicznych zmian zachodzących stopniowo w przedsiębiorstwach produkcyjnych.

1.1. WPROWADZENIE

Klasyczne, statyczne linie produkcyjne nadal dominują w produkcji. Ich efektywność ekonomiczna jest w większości przypadków korzystniejsza niż w przypadku bardziej elastycznych koncepcji produkcji. Jednak wymagania produkcyjne stopniowo się zmieniają, a klasyczne koncepcje produkcji są rozszerzane i często zastępowane przez bardziej dynamiczne koncepcje produkcji, co wynika ze zmiany oczekiwań klientów.

Przyszłe systemy produkcyjne będą się znacznie różnić od dzisiejszych. Zmiany będą spowodowane nie tylko presją klientów na różnorodność nowych produktów, ale także rewolucyjnymi zmianami wynikającymi z zastosowań innowacji technologicznych.

Najważniejszym czynnikiem wpływającym na istniejące środowisko produkcyjne jest jednak klient. Już dziś chce szczegółowo skonfigurować swój zamawiany produkt i chce robić to zdalnie. Producenci są więc zmuszeni do szybkiego rozwijania internetowych konfiguratorów swoich produktów. Cyfrowy model przyszłego produktu zaczyna pełnić istotną rolę zamówienia. Producenci wytwarzają produkty głównie metodą produkcji na zamówienie – MTO (Make To Order). Niektórzy klienci chcą również być obecni przy „narodzinach” swojego produktu, chcą na własne oczy zobaczyć, jak jest wytwarzany. Dlatego już kilku producentów umożliwia swoim klientom takie doświadczenie poprzez tzw. koncepcję szklanej fabryki (Glass Factory).

* doc. Ing. PhD., Uniwersytet w Żylinie, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Katedra Inżynierii Przemysłowej, ul. Univerzitná 8215/1, 010 26 Żylica, Słowacja, e-mail: patrik.grznar@fstroj.uniza.sk

** dr hab. inż., prof. ATH, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: dplinta@ath.bielsko.pl

Zakład produkcyjny musi wyprodukować wymagany produkt w możliwie najkrótszym czasie. Przyszła produkcja będzie coraz szybciej wytwarzać produkty, które będą dostosowane do wymagań konkretnego klienta, wysoce skomplikowane, złożone, mogące oferować nowe funkcjonalności i dlatego będzie wymagane zupełnie nowe środowisko produkcyjne.

Dostosowywanie i personalizacja produktu to złożony problem, który już dziś jest analizowany i podejmowane są próby jego rozwiązania. Z jednej strony stosuje się odpowiednią konstrukcję nowych produktów, zwanych również produktami modułowymi lub rekonfigurowalnymi. Z drugiej strony dąży się do zwiększenia elastyczności systemu produkcyjnego. Rosnąca złożoność produktów i systemów produkcyjnych wymaga opracowania i zastosowania zupełnie nowych metod i podejść do projektowania produktów i ich wytwarzania, wśród których zaczynają dominować technologie cyfrowe.

Podsumowując, do głównych sił napędzających rozwój przedsiębiorstw należy zaliczyć:

- nowe technologie – technologie, które na początku są często pomijane, a które mogą później przekształcić całe branże lub sektory usług. Te siły napędowe nazywamy również siłami nacisku, ponieważ zmiany zachodzą pod wpływem presji technologicznej.
- zmiany rynkowe, czyli zmiany wymagań klientów – zmiany te często można zaobserwować jako trendy długoterminowe. Klienci domagają się produktów (usług), które lepiej i dokładniej spełniają ich oczekiwania, które producenci realizują poprzez dostosowywanie i personalizację produktów.

1.2. ZMIANA PRIORYTETÓW BIZNESOWYCH

W przeszłości, gdy rynki światowe nie były nasycone różnorodnymi wyrobami, priorytetem firm było osiągnięcie wysokiego wykorzystania mocy produkcyjnych. Możliwości firm prezentował inwestowany kapitał, który firmy starały się jak najlepiej wykorzystać. Celem było wytwarzanie prostych produktów w dużych ilościach (masowa produkcja), co gwarantowało korzyści ekonomiczne wynikające ze skali produkcji. Przedsiębiorstwa poszukiwały regionów o niskich kosztach pracy, co spowodowało masowy transfer produkcji do krajów o taniej sile roboczej (offshoring). Po nasyceniu się rynków stopniowo zmieniały się wymagania i preferencje klientów, co zaowocowało coraz większą różnorodnością produktów i związanym z tym wzrostem złożoności produkcji [9]. Elastyczność produkcji stała się warunkiem produkcji szerokiej gamy różnorodnych produktów. Tym samym priorytet wysokiego wykorzystania mocy produkcyjnych został stopniowo zastąpiony wymogiem wysokiej elastyczności produkcji i zdolności radzenia sobie ze złożonością takiej produkcji. Tylko takie podejście gwarantowało stały wzrost produktywności.

Stopniowo priorytet wysokiego wykorzystania mocy produkcyjnych i niskich płac został zastąpiony priorytetem wysokiej elastyczności i złożoności zarządzania produkcją [9]. Pod koniec XX wieku w przedsiębiorstwach produkcyjnych zaczęto masowo wdrażać najnowsze technologie teleinformatyczne, co zaowocowało tańszą automatyzacją i robotyzacją produkcji. Koszt zautomatyzowanej produkcji stał się niższy niż koszt robocizny, co spowodowało nowe zjawisko znane dziś jako reshoring. Przedsiębiorstwa zaczęły przenosić swoje moce

produkcyjne z krajów o taniej sile roboczej do krajów macierzystych. Dobrym przykładem są duże korporacje z USA (Intel, General Motors, General Electric).

Kolejnym obserwowanym współcześnie zjawiskiem jest przechodzenie od produkcji do usług. Pojawiają się nowe sposoby i formy tworzenia wartości. Klasyczne fabryki i ich systemy produkcyjne ulegają stopniowym przeobrażeniom, ponieważ klasyczne produkty, jak postrzegaliśmy je od wieków, również się kończą. Klienci dzisiaj nie muszą posiadać fizycznych produktów, szukają usługi, która spełni ich wymagania. Młode pokolenie (milenialsi) nie musi już posiadać rzeczy, chce się nimi dzielić, co pobudziło powstanie tzw. ekonomii współdzielenia. Rośnie znaczenie leasingu. Głównym priorytetem firm produkcyjnych staje się działalność oparta na modelach biznesowych [9].

Mimo coraz większego znaczenia działalności usługowej, nadal decydującym podsystemem każdej fabryki jest jej system produkcyjny, który stanowi trzon firmy zapewniając realizację procesów transformacji zasobów wejściowych w wyroby i usługi finalne. Są to jednocześnie skomplikowane systemy społeczno-gospodarcze funkcjonujące w środowisku dużej niepewności.

Każdy system produkcyjny jest projektowany z uwzględnieniem z góry określonego spektrum produktów definiujący zakres produkcyjny [2]. W oparciu o wielkość produkcji i wymaganą elastyczność systemu produkcyjnego wyróżniamy następujące typy systemów produkcyjnych [6, 19]:

- linie produkcyjne (linie transferowe) – jeden lub więcej wyrobów finalnych, stosunkowo prosty przepływ materiałów, odpowiednie rozmieszczenie stanowisk pracy; nadają się do produkcji masowej, niska elastyczność.
- systemy produkcyjne do produkcji jednostkowej i małoseryjnej (hala produkcyjna) – wytwarzają całe spektrum różnych produktów, skomplikowany przepływ materiałów, układ technologiczny stanowisk pracy.
- elastyczne systemy produkcyjne – przeznaczone są dla wybranej rodziny produktów. Wykorzystują maszyny i urządzenia z elastycznymi elementami (NC, CNC, DNC) i zautomatyzowaną manipulacją materiałami.
- rekonfigurowalne systemy produkcyjne – przeznaczone są dla wybranego asortymentu produktów, pozwalają na proste zmiany wydajności i funkcjonalności systemu produkcyjnego.

Rekonfigurowalne systemy produkcyjne stały się nowym trendem w rozwoju systemów produkcyjnych. Zgodnie z naturą, jeżeli zmienia się otaczające środowisko, żywy organizm stara się przystosować do zmienionych warunków. Wykorzystuje on zmianę struktur wewnętrznych, ilości elementów i ich składu. Na poziomie molekularnym organizm „rozkłada i przetwarza” niepotrzebne struktury i przekształca je w nowe, potrzebne struktury. Recykling to proces rozkładu, a rekonfiguracja reprezentuje nowe wykorzystanie istniejących struktur [15].

W ludzkim organizmie wszystkie narządy mogą się zmieniać, z wyjątkiem mózgu. Jej zmiany (rozpad struktur i dekompozycja) są zablokowane. Tak samo jest w firmie. Większość struktur zmienia się podczas rekonfiguracji, ale główny system sterowania pozostaje niezmienny. Możliwe jest, podobnie jak w mózgu, rozszerzenie funkcji poprzez ekspansję zewnętrzną. Jego architektura musi być zaprojektowana tak, aby odzwierciedlała

przyszłe zmiany i była zachowywana podczas rekonfiguracji. Przedsiębiorstwo rekonfigurowalne powinno zachowywać się jak żywy organizm [16].

Żyjemy w czasach, gdy zachodzą również paradygmatyczne zmiany, a ich główną siłą napędową są nowe, innowacyjne technologie. Zaawansowane technologie wpływają na życie całego społeczeństwa. Ich najistotniejszy wpływ przejawia się w sferze produkcyjnej. Robotyka to jedna z dziedzin, w której od kilkudziesięciu lat dokonuje się rewolucja technologiczna. Roboty przemysłowe stały się już powszechne w produkcji. Podobną ścieżką podąża również rozwój i wdrażanie robotów mobilnych w produkcji i logistyce. W ciągu ostatnich pięciu lat również roboty kooperacyjne trafiły z laboratoriów badawczych do warsztatów produkcyjnych. Stanowią one etap pośredni w transformacji systemów produkcyjnych poprzez zintegrowanie działań ludzi i robotów w sposób oparty na współpracy. W tej fazie człowiek nadal pozostaje częścią procesów produkcyjnych. Kolejnym etapem rozwoju są roboty humanoidalne, które stopniowo stają się priorytetem w badaniach i szybko przenikają do praktyki produkcyjnej i usług. Jednym z głównych priorytetów badawczych stała się robotyka kolektywna, czyli zarządzanie i koordynacja docelowego zachowania grupy heterogenicznych robotów.

Konwencjonalne systemy produkcyjne wykorzystywały do zarządzania produkcją klasyczne metody planowania pchanego (Push), a później ciągnionego (Pull), których zastosowanie ze względu na rosnącą ilość zadań produkcyjnych jest coraz bardziej skomplikowane. Nowym rozwiązaniem staje się stosowanie sterowania wieloagentowego, które w produkcji oznacza przekształcenie skomplikowanych systemów w złożone autonomiczne systemy. Złożoność wzajemnych relacji między poszczególnymi elementami systemu jest już tak duża, że często jest bardzo trudno, a nawet może być niemożliwe wykorzystanie do ich badania modelowania matematycznego. Dynamiczne zachowanie takich systemów można badać jedynie za pomocą teorii złożoności, a jedyną techniką modelowania, która dziś umożliwia badanie aktywności złożonych systemów, jest symulacja agentowa. W tym przypadku określana jest również jako metoda ostatniej szansy.

Podsumowując można stwierdzić, że współczesne systemy produkcyjne i cała produkcja znajdują się w fazie permanentnej transformacji. Niektóre obszary, w których stosowano konwencjonalne systemy produkcyjne, masowo wytwarzając produkty na rynki konsumenckie, zaczynają coraz bardziej eksperymentować z rozwojem rekonfigurowalnych linii produkcyjnych lub tzw. wysp kompetencji pod wpływem rosnących wymagań klientów i tym samym złożoności produkcji.

Na rozwój fabryk przyszłości mają wpływ dwie główne siły napędowe:

- rozwój technologiczny - zawiera elementy wzrostu o charakterze wykładniczym, osiągnąony głównie poprzez cyfryzację, powodujący wzrost gospodarczy i spadek kosztów.
- globalizacja – powiązana z transferem technologii, zjawiskami offshoringu i reshoringu, zmianą zachowań klientów oraz turbulencjami lokalnymi wynikającymi z globalnych zmian.

Najbardziej wpływowe technologie dla przyszłych fabryk można podzielić na dwie następujące grupy [5]:

- I. technologie „materiałowe” (materialne):
 - robotyka – przemysłowa, usługowa, roboty współpracujące,
 - robotyka mobilna – robotyka zbiorowa, robotyka roju,
 - technologie addytywne – wykorzystanie w masowej produkcji,
 - nanotechnologia – wytwarzanie na poziomie molekularnym,
 - cyfrowy bliźniak fabryki (Factory Twin) – zintegrowany świat hybrydowy.
- II. technologie „niematerialne”:
 - Digitalizacja – dematerializacja i demonetyzacja,
 - ICT - IoT, IIoT, IoMT, Chmura, czujniki, identyfikacja - RFID,
 - Telefakturowanie – produkcja kontrolowana z domu, przejście do fabryki bez ludzi (Unmanned Factory),
 - sztuczna inteligencja – wszystko inteligentne (maszyny, narzędzia, preparaty, palety, przenośniki, MRS),
 - rzeczywistość wirtualna – holografia, immersja, holofilm, holosymulacja,
 - planowanie i zarządzanie produkcją – zarządzanie przybliżone (metamodelo),
 - systemy wieloagentowe – złożone systemy społeczno-gospodarcze, przewidywanie zachowań,
 - systemy wiedzy i interfejs komputera mózgowego (Brain Computer Interface),
 - Big Data – analityka, korelacje, predykcja.

1.3. NOWE KONCEPCJE ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ

Wszystkie nowe koncepcje zarządzania produkcją są zorientowane na realizację jednego głównego celu, jakim jest adaptacyjność, czyli zdolność do natychmiastowego reagowania na gwałtowne zmiany w otoczeniu, zwane również turbulencjami. Adaptacyjne systemy produkcyjne są obecnie najważniejszym rozwiązaniem, przedstawianym jako zarys przyszłego środowiska produkcyjnego. Do spełnienia wymogu adaptacyjności można podejść na kilka sposobów, dlatego inżynierowie produkcji opracowali i przetestowali szereg nowych koncepcji produkcyjnych, takich jak rekonfigurowalne systemy produkcyjne, wyspy kompetencji, wieloagentowe systemy zarządzania itp.

W nowych koncepcjach zarządzania produkcją wytwarzany produkt zachowuje się jak inteligentny byt, zdolny do komunikowania się z otoczeniem i zdolny całkowicie autonomicznie organizować proces przetwarzania. Taki produkt sam określa kolejność działań związanych z jego wytwarzaniem, wymaganą wydajność wysp kompetencji oraz przywoła mobilnego robota, który zapewni jego transport na wydziałach produkcyjnych. Aby taki system organizacyjny działał bezpiecznie i niezawodnie oraz realizował swoje zadania, będzie wymagał nowych sposobów planowania i zarządzania produkcją. W przyszłym, pozornie „chaotycznym” świecie produkcji, obecne systemy sterowania przestaną działać. Przy bardzo dużej liczbie inteligentnych elementów w systemie produkcyjnym pojawią się skomplikowane relacje i sytuacje, w których dzisiejsze hierarchiczne zarządzanie nie jest już w stanie skutecznie działać. Złożone relacje między

poszczególnymi podmiotami spowodują stan zwany awaryjnym, czyli stan, w którym przewidywanie przyszłego zachowania tak złożonych systemów będzie trudne lub niemożliwe. Dlatego prowadzone są już eksperymenty z nowymi podejściami do zarządzania, opartymi na względnej autonomii poszczególnych elementów systemu produkcyjnego i ich zachowaniu, które będą przypominać zachowanie inteligentnych, żywych organizmów. Oprócz rzeczywistych obiektów w produkcji pojawią się również ich wirtualni przedstawiciele, których dziś określamy mianem cyfrowych bliźniaków. Taka podwójna reprezentacja produkcji nazywana jest również produkcją wirtualną.

W kolejnych podpunktach scharakteryzowano najważniejsze koncepcje fabryk przyszłości.

1.3.1. Rekonfigurowalne systemy produkcyjne

Rekonfigurowalny system produkcyjny (RMS) to system produkcyjny, którego strukturę można łatwo dostosować, skalując wydajność i elastyczność ograniczoną do wybranej rodziny produktów [14].

Rekonfigurowalne systemy produkcyjne stanowią kolejną fazę rozwoju systemów produkcyjnych. Ich tworzenie wymaga nowego podejścia, w którym dominującą rolę odgrywają rekonfigurowalne maszyny, osprzęt, narzędzia, logistyka i rekonfigurowalny system zarządzania [20].

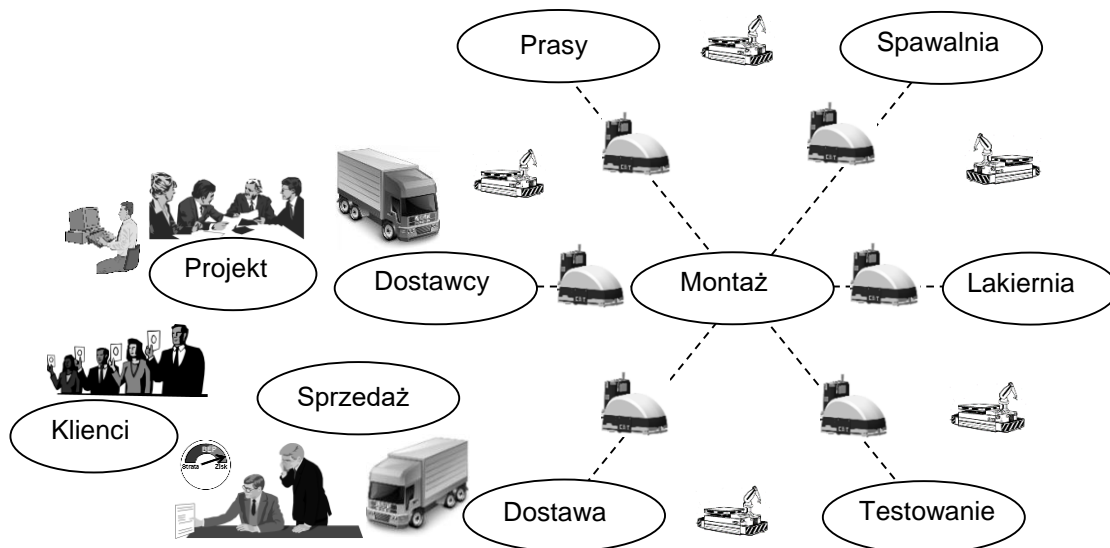
RMS są tworzone tak, aby umożliwić prostą i szybką przebudowę (rekonfigurację). Ta cecha kwalifikuje rekonfigurowalne systemy produkcyjne do kategorii systemów adaptacyjnych. Możliwość przebudowy oznacza dostosowanie systemu produkcyjnego do nowych rodzajów produktów (ich funkcjonalności) oraz do nowych wielkości produkcji (wydajności) [12]. Rekonfigurowalność stała się zatem nową technologią, która może lepiej zaspokajać wahania i zawirowania na rynku poprzez stopniową przebudowę systemu produkcyjnego.

Rekonfigurowalność oznacza zdolność operacyjną systemu produkcyjnego do dostosowania jego funkcji i wydajności do określonej rodziny produktów. Jej wynikiem jest elastyczność systemu produkcyjnego, która w przeciwieństwie do rekonfigurowalności, jest ściśle zdefiniowana w systemie produkcyjnym. Rekonfigurowalność i elastyczność warunkują adaptacyjność systemu produkcyjnego, którą osiąga się poprzez zmianę jego struktury. Taka zmiana strukturalna umożliwia adaptację (dostosowanie) funkcji i wydajności systemu produkcyjnego do nowych wymagań. Warunkiem skutecznej rekonfigurowalności jest wymóg minimalizacji wysiłku i maksymalnego skrócenia czasu potrzebnego na wdrożenie zmian [1].

1.3.2. Wyspy kompetencji

Produkcja wielkoseryjna, organizowana obecnie zgodnie z ustalonym taktem, funkcjonująca w powtarzalnych cyklach produkcyjnych, nie będzie w stanie sprostać przyszłym wymaganiom klientów. Dzisiejsze „sztywne” linie produkcyjne i montażowe zostaną zastąpione zestawem autonomicznych stanowisk pracy, tzw. wyspami kompetencji (rys. 1.1). Można je sobie wyobrazić jako wirtualne linie produkcyjne, tworzone dynamicznie w oparciu o realne potrzeby. Wyspy kompetencji zostaną wyposażone w technologie i roboty współpracujące zdolne do bezpiecznej i niezawodnej współpracy

z ludźmi. [8]. Dlatego nowe systemy produkcyjne powinny być tworzone jako małe, elastyczne jednostki produkcyjne, które będą wdrażane tam, gdzie istnieje wystarczający realny popyt. Takie systemy produkcyjne będą przeznaczone do produkcji wybranej rodziny produktów, co wymaga oparcia ich koncepcji na zasadach rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych.



Rys. 1.1. Koncepcja wysp produkcyjnych [9]

Organizacja systemów produkcyjnych stopniowo się zmienia. Klasyczne linie produkcyjne i montażowe znajdują zastosowanie tylko tam, gdzie będzie to korzystne ekonomicznie. Przyszła produkcja wyda się zewnętrznemu obserwatorowi kompletnym chaosem, a materiał, półprodukty, produkcja w toku, czy pojazdy transportu wewnątrzzakładowego poruszają się chaotycznie. Jednak każdy z wymienionych elementów systemu produkcyjnego będzie kierował się ścisłą logiką wyższego poziomu, co pozwoli mu zachowywać się w miarę autonomicznie. W rzeczywistości będzie to zorganizowany chaos. Do zarządzania produkcją wykorzystywane będą zasady zaczerpnięte z natury, które oferują sprawdzone optymalne procedury.

Inteligentne roboty mobilne, mobilne systemy robotyki przemysłowej zdobędą silną pozycję w przyszłych fabrykach. Takie roboty zapewnią sprawne przemieszczanie materiałów i ich przetwarzanie w pozornie chaotycznym środowisku.

Produkcja będzie organizowana tak jak żywy organizm, podobny do mrowiska, w którym mrówki zdają się biegać chaotycznie, podczas gdy są ściśle zorganizowane, a każda z nich spełnia ściśle określone zadania, których wymaga przetrwanie mrowiska.

Zmieni się produkt, sprzęt produkcyjny, technologie i cały system produkcyjny. Wytwarzane produkty, urządzenia produkcyjne i środki mobilnej logistyki staną się inteligentne i będą się ze sobą komunikować. Będą wymieniać i udostępniać wszystkie niezbędne dane i informacje w czasie rzeczywistym.

Roboty mobilne, transportujące materiał w toku, będą przemieszczać się pomiędzy wyspami kompetencji, a sam produkt określi wymagane operacje i zaplanuje ich kolejność. Obserwator nie zobaczy klasycznej linii produkcyjnej, zaobserwuje pozorny chaos fizyczny, za którym kryje się wirtualna linia (jej cyfrowy i wirtualny model danych), złożona z wysp kompetencji, niezbędnych do wytworzenia produktu wymaganego przez klienta.

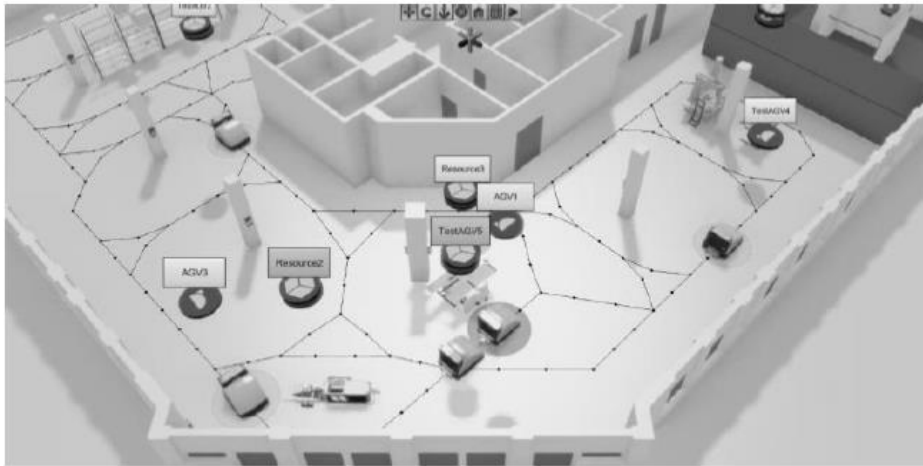
Przyszła produkcja nie będzie ustrukturyzowana zgodnie z rytmem produkcji linii, jak to jest obecnie, ale zgodnie z zadaniami, które należy wykonać aby powstał produkt. Decydującą rolę będą odgrywać zależności funkcjonalne, a nie stałe czasy cykli. Taki sposób organizacji produkcji będzie odpowiedni nie tylko dla małych przedsiębiorstw produkcyjnych, ale również będzie korzystny dla produkcji wielkoseryjnej, wysoce zmiennej, której celem będzie osiągnięcie dużej elastyczności i wydajności. Takie systemy będą w stanie znacznie skuteczniej reagować na wahania popytu, gwałtowne zmiany produkowanych wyrobów wymagające różnych technologii.

1.3.3. Wirtualizacja produkcji

Współczesne zarządzanie produkcją coraz częściej wspomagają wirtualne cyfrowe bliźniaki, czyli komputerowe odpowiedniki rzeczywistych obiektów tak zwanych agentów. Dużą grupę takich agentów i zarządzanie nimi nazywamy systemami wieloagentowymi (Multi Agent Systems/MAS) [7].

Przyszła produkcja będzie reprezentowana przez dwa światy, świat rzeczywisty i jego wirtualny obraz, zwany także światem wirtualnym. Te światy zostaną ze sobą zintegrowane poprzez dane. Dane produkcyjne będą gromadzone i przetwarzane w czasie rzeczywistym. Informacje o każdym obiekcie w produkcji, co aktualnie robi, w jakim jest stanie, co jest zaplanowane, czego brakuje, itp. będą dostępne niemal natychmiast. Status każdego produktu, maszyny, narzędzia, urządzenia, robota lub osoby będzie stale monitorowany, a przetworzone informacje będą przesyłane do centrum sterowania. Informacje te zostaną porównane z kolejnym etapem wytwarzania produktu i na tej podstawie zostanie wygenerowana sekwencja przyszłych kroków i podjęte zostaną niezbędne działania dotyczące dalszego przetwarzania produktu. Wirtualny model umożliwi również przeprowadzanie symulacji stanu przyszłego i przewidywanie skutków podejmowanych decyzji oraz określanie niezbędnych zasobów i środków inwestycyjnych, jeśli zajdzie taka potrzeba.

Zarządzanie takim systemem to skomplikowany proces. System sterowania nie może sam wszystkiego kontrolować, dlatego większość obiektów musi funkcjonować niezależnie, tj. wykazywać zachowanie autonomiczne. W takim przypadku systemowi sterowania pozostaje funkcja planowania, koordynacji i kontroli. Autonomiczne działanie zapewnią niezależne systemy agentowe (rys. 1.2.) [4].



Rys. 1.2. Symulacja wieloagentowego sterowania robotami mobilnymi [4]

Klasyczne zarządzanie systemami produkcyjnymi przypomina postępowanie lekarzy względem pacjentów. Diagnozujemy ewentualne problemy, kategorujemy je i „leczymy” według ustalonych i sprawdzonych procedur.

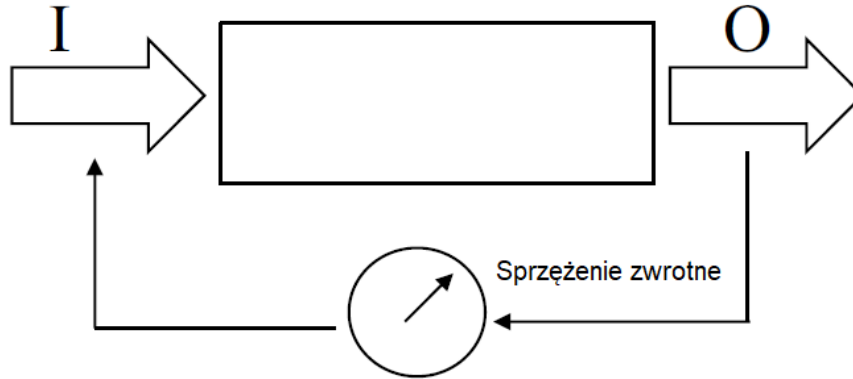
Model symulacyjny systemu produkcyjnego, szczegółowy, hierarchiczny i wielopoziomowy, zawierający wszystkie istotne czynniki kształtujące proces produkcyjny, umożliwi nowy sposób zarządzania, oparty na dynamicznej analizie i predykcji. Jeśli połączymy taki model ze źródłami informacji o realizowanej produkcji i jego systemem sensorycznym, będzie on funkcjonował podobnie jak organizm ludzki. Będzie zachowywał się adaptacyjnie i jednocześnie wykorzystywał dane w czasie rzeczywistym. Będzie działał z własną „mapą ciała”, podobnie jak robi to organizm ludzki. Dzisiejsze eksperymenty z przetwarzaniem danych w pamięci urządzeń są ukierunkowane na takie przyszłe systemy sterowania.

1.3.4. Systemy sterowania

Podobnie jak w branży lotniczej, również w produkcji stosujemy systemy redundantne, aby zapobiec załamaniu produkcji w przypadku awarii maszyn lub awarii kluczowych podsystemów. To, że organizm ludzki nieustannie planuje i przewiduje krótkoterminowe zdarzenia i procesy, jest znane z badań neurologicznych. Nasz mózg tworzy obrazy przyszłych wydarzeń i stanów, rodzaj oczekiwania, które osoba później spełnia. Planowanie, które realizuje mózg, dzieje się podświadomie i poprzedza aktywność mięśni. Tak też musi być w produkcji. Nie reakcja, ale działanie. Nowe systemy czujników umożliwiają przejście od systemów monitorowania statycznego (próbki i zbieranie danych w odstępach jednodniowych) do monitorowania dynamicznego (próbki w mikrosekundach). Wartości średnie parametrów wyjściowych należy w systemach monitoringu nowej generacji zastąpić wartościami chwilowymi i zmieniającymi się trendami. System monitorowania musi zawierać podsystem wczesnego ostrzegania

tj. funkcję, która będzie śledzić (wyszukiwać) potencjalne problemy, system który będzie informował o wystąpieniu potencjalnych problemów oraz mechanizm automatycznej korekty, który rozwiąże potencjalny problem, zanim faktycznie wystąpi.

Współczesne zarządzanie produkcją opiera się na monitorowaniu wyjścia (parametrów systemu) i jeśli odbiegają od pożądanego stanu, staramy się je skorygować zmieniając wejścia (współczynniki) (rys. 1.3.).



Rys. 1.3. System z informacją zwrotną [8]

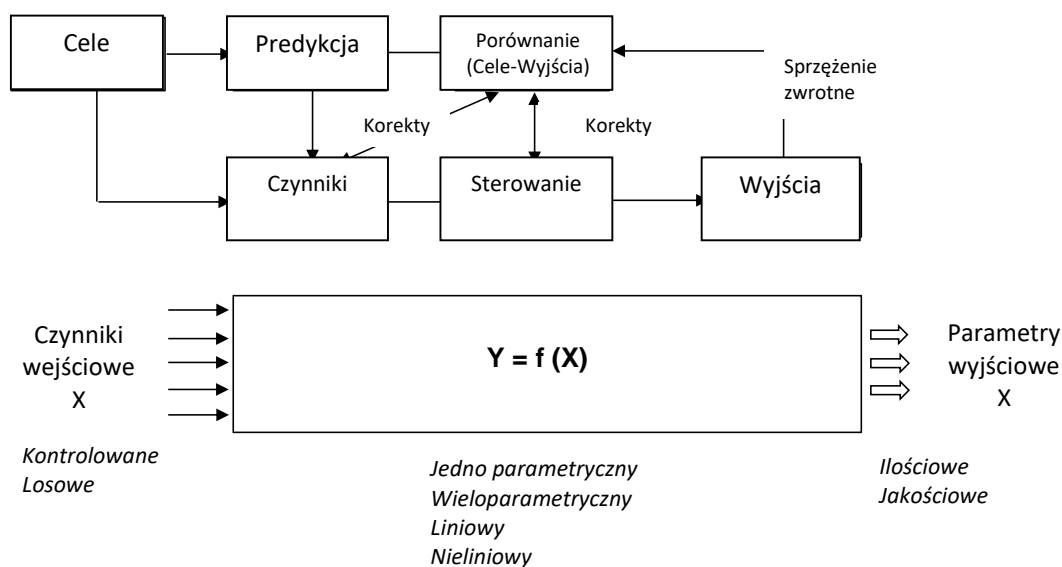
Jeśli mamy wystarczającą ilość danych z systemu produkcyjnego, dzięki wirtualnej rzeczywistości możemy stworzyć wirtualny obraz produkcji (jej dynamiczny hologram) a następnie w takiej rzeczywistości można obserwować efekty realizowanych procesów (wizualizować je), odtwarzać przyszły stan i decydować o zmianach, które zostaną wprowadzone. Taki system, działający wystarczająco długo, może stopniowo uczyć się dostosowywania do zmieniającego się otoczenia przy wsparciu systemu uczenia maszynowego i systemu wiedzy. Jeżeli decyzja zostanie podjęta przez osobę, pomimo korzystania z komputerów, zastosowane zostanie sterowanie ręczne. Natomiast w sterowaniu bezpośrednim, w trybie automatycznym, system sterowania decyduje samodzielnie, a ręczne interwencje są zastępowane przez działania automatyczne.

System produkcyjny jest systemem wieloczynnikowym. Jego model jest dynamiczny, a nie statyczny. Dlatego nie można jednoznacznie stwierdzić, że wydajność systemu produkcyjnego jest funkcją małych zapasów lub krótkich terminów realizacji. Wydajność produkcji zależy od zestawu wielu czynników, które zmieniają się dynamicznie w czasie i są różne dla każdego systemu produkcyjnego. Nawet jeśli nie znamy szczegółowo funkcjonowania każdego elementu produkcji i nie musimy go w pełni rozumieć, jednak potrafimy nim zarządzać. Jednak jego skuteczność odnosimy tylko do bardzo wąskiego zakresu kryteriów oraz najważniejszych parametrów [17].

Korelacja jest właściwością statystyczną charakteryzującą stopień statystycznej zależności dwóch (kilku) zmiennych statystycznych (zmiennych losowych). Jeśli weźmiemy pod uwagę tylko dwie zmienne, możemy łatwo zinterpretować zależności. Ale jeśli poruszamy się w przestrzeni n-wymiarowej z setkami zmiennych, relacje (zależności

statystyczne) między zmiennymi zaczynają przybierać często niejasny charakter. W realnych systemach produkcyjnych pracujemy przy niemal nieskończonej liczbie zmiennych czynników, dlatego bardzo trudno jest zbudować kompletny model matematyczny systemu produkcyjnego, który wiernie i wystarczająco dokładnie oddałby jego dynamikę. W takim przypadku pomagają jedynie przybliżona metoda jaką jest symulacja komputerowa. Przyczyna i skutek, reprezentowane są przez korelację, nie zawsze pokazującą przyczyny zdarzeń, a raczej ich konsekwencje. Zbyt duża ilość danych prowadzi do tak zwanych „nieuchwytnych korelacji”. Wiele danych jest używanych do różnych szacunków i prognoz. Problemem staje się określenie tego jak dokładne są te szacunki i przewidywania.

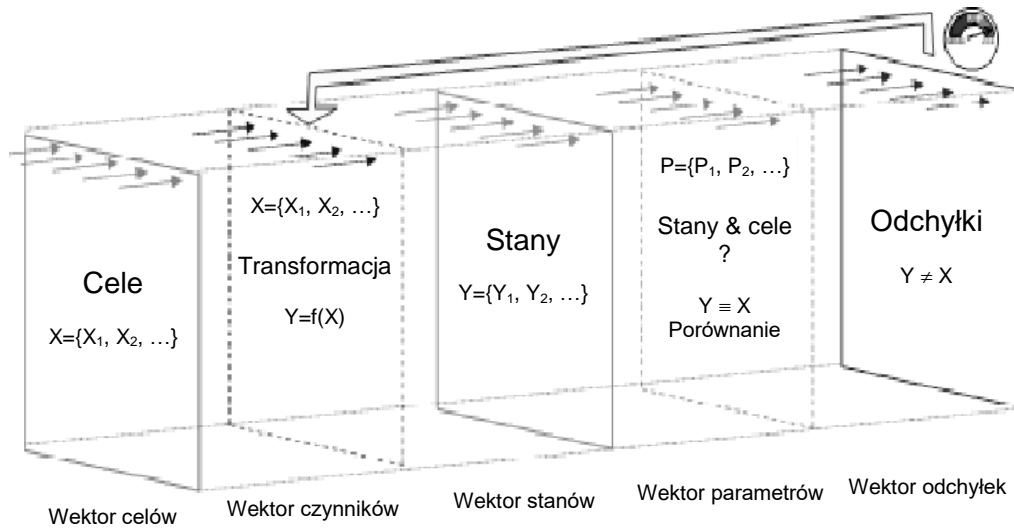
Do sterowania fabryką potrzebne są trzy podstawowe reprezentacje (wektory), które obejmują wektor celów, wektor stanów i wektor odchyleń. W praktycznej realizacji koncepcję układu sterowania przedstawiono na rys. 1.4. [10]



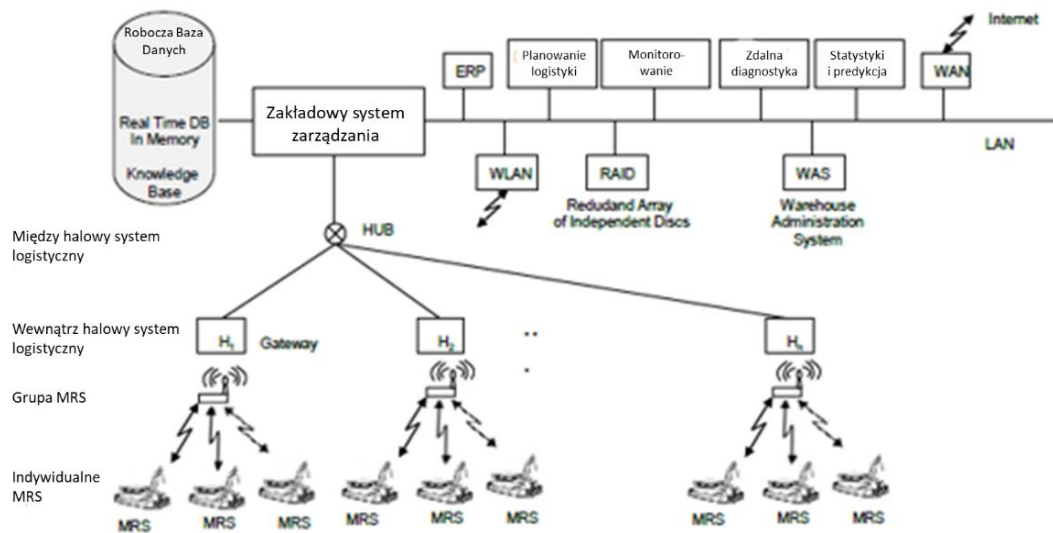
Rys. 1.4. Koncepcja systemu sterowania przedsiębiorstwem [10]

Koncepcja sterowania wykorzystująca wirtualizację zawiera mechanizmy predykcyjne, które pozwalają systemowi sterowania „zobaczyć potencjalne scenariusze przyszłości”. Strukturę danych dla takiej koncepcji sterowania pokazano na rys. 1.5. [10]

Koncepcję budowy systemu sterowania dla robotów mobilnych stosowanych w logistyce wewnątrzzakładowej przedstawiono na rys. 1.6.



Rys. 1.5. Struktura danych systemu zarządzania przedsiębiorstwem [10]



Rys. 1.6. Struktura zarządzania MRS w logistyce [10]

1.3.5. Systemy holoniczne

Termin holon został wprowadzony w XX wieku przez węgierskiego pisarza i filozofa Arthura Koestlera, który wykazał, że prawie każdy element żywych systemów może być rozumiany w czasie rzeczywistym zarówno jako całość, jak i jako pojedyncza część całości. Termin „holon” jest połączeniem greckiego słowa „Holos” (całość) i przyrostka „on” (częśćka/jej część lub byt, istnienie). System holoniczny może być rozumiany jako system

składający się z podsystemów, ale jednocześnie taki system jest częścią jakiejś większej całości (systemu). Zbiór holonów wraz z ich właściwościami tworzy organizację holoniczną, zwaną holarchią, charakteryzującą się realizacją wspólnych celów. Holarchia umożliwia tworzenie struktur i reprezentację zachowania złożonych systemów, często nazywanych systemami społecznymi.

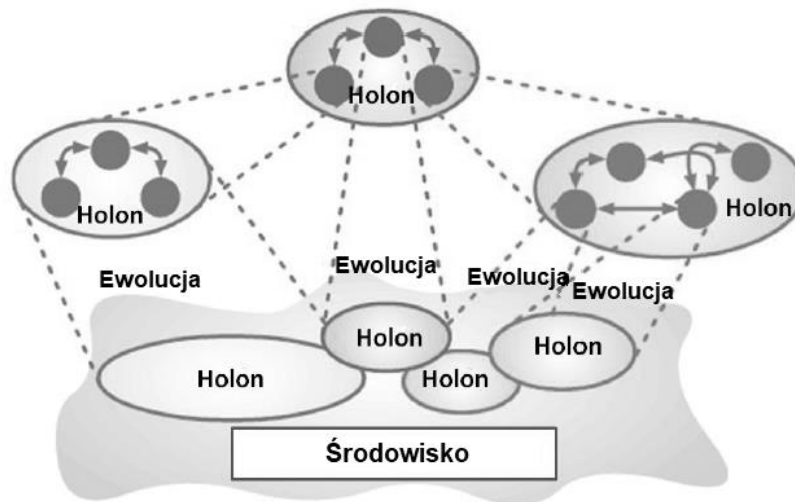
Funkcjonowanie systemów holonicznych opiera się na autonomicznej zdolności agentów. Agent reprezentuje byt systemowy, który posiada określony stopień niezależności, który umożliwia mu samodzielne rozwiązywanie zadań w ramach określonego poziomu działania. Agenci otrzymują zadania z wyższego poziomu holarchii, ale też samodzielnie realizują swoje zadania. Inteligentny agent to system obliczeniowy lub naturalny, zdolny do postrzegania swojego otoczenia i na podstawie jego monitorowania, wykonywania działań powodujących osiągnięcie najlepszego wyniku (minimum, maksimum) wynikającego z przyjętej funkcji celu, a tym samym realizację globalnych celów systemu. W systemach agentowych, z ogromną ilością interakcji zachodzących między poszczególnymi autonomicznymi agentami na przykład w systemach społecznych, nie jesteśmy już w stanie przewidzieć przyszłego zachowania takiego systemu inaczej niż za pomocą symulacji agentowej. Holon może (ale nie musi) składać się z kilku agentów. Zestaw agentów o określonym systemie zachowań tworzy kontrolę agenta.

Do podstawowych cech holonów należą [11]:

- Autonomia – każdy holon jest w stanie realizować działania kontrolne i monitorujące w oparciu o własne plany, strategie i podejmować odpowiednie działania naprawcze w przypadku własnej awarii;
- współpraca – holony muszą komunikować się ze sobą, realizować wzajemnie akceptowalne plany i podejmować działania przeciwko zakłóceniom;
- otwartość – system musi być w stanie przystosować się do integracji z nowymi holonami, usuwania istniejących holonów, modyfikacji możliwości obecnych holonów przy minimalnej interwencji człowieka.

Według Haluški i Gregora [13]: „System wieloagentowy (MAS) można uznać za elementarne części rozproszonej sztucznej inteligencji, które stanowią ramy koncepcyjne do modelowania złożonych systemów. MAS jest definiowany jako luźno powiązana sieć składająca się z solverów generowanych zadań. Platforma MAS wskazuje na dystrybucję, autonomię, interakcję (tj. komunikację), koordynację i organizację poszczególnych agentów”.

System wieloagentowy (rys. 1.7.) składa się z grupy agentów działających na określonym obszarze. Każdy agent w MAS ma tylko częściową wiedzę, ale pełną autonomię. Aby agent mógł działać samodzielnie w strukturze MAS, musi posiadać zdolność do samodzielnego przetwarzania informacji i podejmowania autonomicznych decyzji w interakcji z innymi agentami danego obszaru. Każdy agent w MAS może działać niezależnie, co pozwala mu przekraczać granice określonego obszaru. W ten sposób poprzez komunikację i współpracę agent uzyskuje informacje i wiedzę od innych agentów [7].



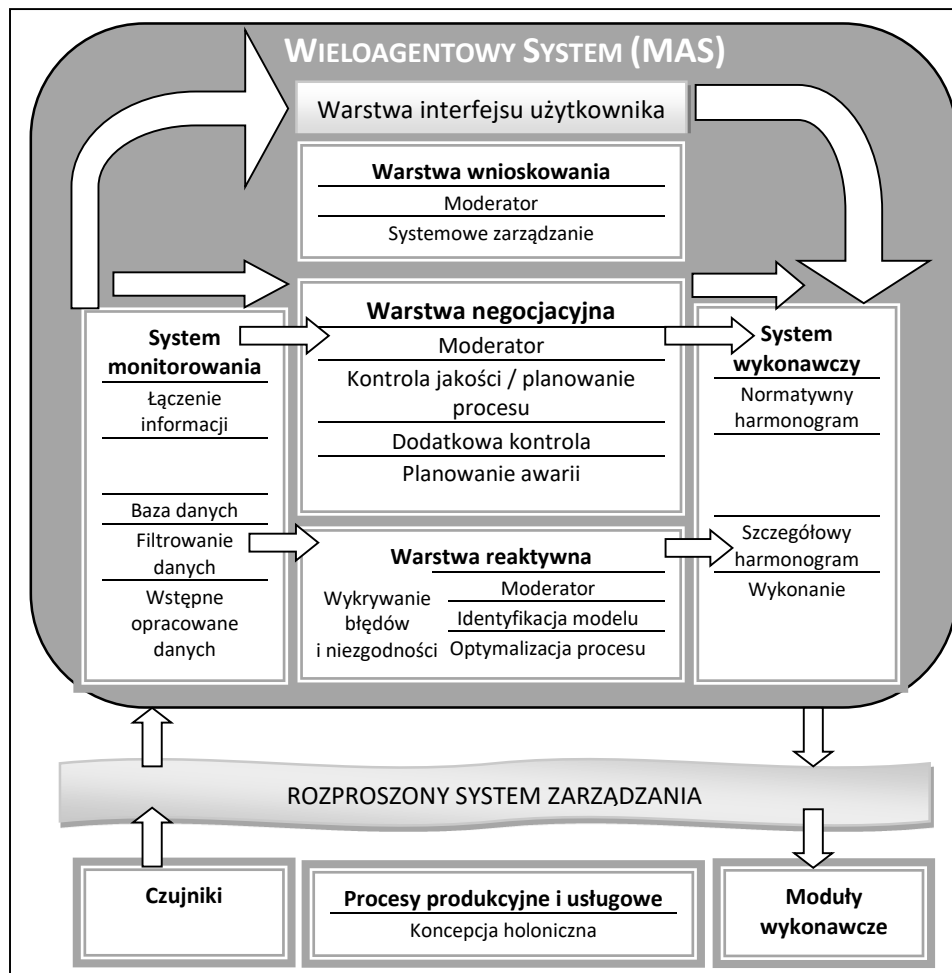
Rys. 1.7. Układ wieloagentowy generujący holony (na podstawie [18])

MAS mogą tworzyć różne hierarchiczne i heterarchiczne (w tym holony) wzorce organizacyjne, takie jak zespoły, koalicje, rynki, które zapewniają osiągnięcie celów ogólnosystemowych.

W przeszłości systemy eksperckie były projektowane w celu zarządzania inteligentnymi systemami produkcyjnymi, które cechowały się niską wydajnością i niskim poziomem uczenia się. Te niedociągnięcia zostały wyeliminowane przez systemy wieloagentowe. Hалуška i Gregor [13] zaproponowali MAS do inteligentnego monitorowania i sterowania produkcją, którego strukturę pokazano na rys. 1.8. Przedstawiona konstrukcja składa się z czterech warstw poziomych i trzech podsystemów pionowych (monitorowania, sterowania, wykonawczego). Szczegółowy opis budowy i funkcji proponowanego MAS przedstawiono w [11]. Zagadnienie wieloagentowego sterowania systemami produkcyjnymi z wykorzystaniem mobilnych systemów zrobotyzowanych opracował L. Ďurica w [3, 4].

1.4. Podsumowanie

Wzrost zapotrzebowania na nowe, niestandardowe produkty stwarza dużą presję na nowe koncepcje systemów produkcyjnych. Muszą mieć dużą elastyczność, którą można zapewnić poprzez rekonfigurację. Nowe koncepcje produkcji wymagają całkowicie nowych i rewolucyjnych sposobów planowania i zarządzania produkcją. Muszą one opierać się na holonicznych zasadach, autonomii i zastosowaniach sztucznej inteligencji oraz zasadach ewolucyjnych. Nawet jeśli zmiany nie następują natychmiast, kraje inwestujące w rozwój systemów produkcyjnych przywiązują dużą wagę do badania koncepcji przyszłej produkcji.



Rys. 1.8. Architektura inteligentnego systemu monitorowania i sterowania [7]

Głównym kierunkiem badań jest poszukiwanie analogii do zjawisk naturalnych. Natura funkcjonuje jako złożony, samoorganizujący się, holoniczny system. Każdy człowiek składa się również z małych, autonomicznych jednostek - holonów, które razem tworzą większe, samoorganizujące się, złożone jednostki, a te tworzą złożony system holoniczny jakim jest człowiek. Natura stworzyła systemy biologiczne i poprzez ewolucję umożliwiła ich dalszy rozwój, w kierunku wyższych form zorganizowanej materii – systemów inteligentnych. Systemy biologiczne reprezentują najbardziej wydajne i potężne systemy produkcyjne znane dziś ludzkości. Systemy te służą naukowcom za modele do tworzenia „sztucznych” mechanizmów naśladujących naturę do wytwarzania nowych produktów.

Zmiany w wymaganiach klientów powodują szereg obaw u producentów. Nie ma produkcji bez klientów, dlatego producenci uważnie słuchają głosu swoich klientów. Mądrzejsi próbują nawet przewidywać wymagania klientów, a jeśli to potrafią, zyskują dużą przewagę konkurencyjną.

Literatura

- [1] BAUERNHANS L. T.: *Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma*. In: Bauernhansl, T., ten Hompel, M., Vogel-Heuser, B. (Hrsg.). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration*. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, s. 5-35, ISBN 978-3-658-04681-1
- [2] BUBENÍK P.: *Manažérske informačné systémy*. EDIS, Žilinská univerzita v Žiline, 137 s., ISBN 978-80-554-1287-0
- [3] ĎURICA L.: *Riadenie modulárnych robotických systémov*. Diplomová práca č. 28260220132005. Žilinská univerzita, Fakulta elektrotechniky, Katedra riadiacich a informačných systémov. 108 s., 2013
- [4] ĎURICA L.: *Multiagentový logistický systém s implementáciou vo virtuálnej realite*. Dizertačná práca. Katedra priemyselného inžinierstva, Strojnícka fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, 181 s., 2016
- [5] GREGOR M., GREGOR T.: *Umelá inteligencia a singularita*. CEIT, 2014, 30s. (CEIT-Š001-01-2014)
- [6] GREGOR M., GREGOR T., GRZNÁR P.: *Autokorelácia*. AUTOKOR-2013-26-07. Pomocné študijné materiály. Žilina, Júl 2013, Katedra priemyselného inžinierstva, Žilinská univerzita v Žiline, 38 s.
- [7] GREGOR M., HALUŠKA M., GRZNÁR P.: *Komplexné systémy. Využitie teórie komplexných systémov pri analýze a navrhovaní produkčných systémov*. Žilinská univerzita, CEIT, 2018, 107 s., ISBN 978-80-89865-10-9
- [8] GREGOR M., KRAJČOVIČ M., GREGOR T., GRZNÁR P., HALUŠKA M., ĎURICA L.: *Smart Logistics. Nové technológie pre logistiku*. Štúdia č. 04-2015 APVV. CEIT, Žilinská univerzita v Žiline, 68 s., ISBN 978-80-971684-8-3, 2015
- [9] GREGOR M., MEDVECKÝ Š., GRZNÁR P., GREGOR T.: *Smart industry requires fast response from research to innovation [Smart priemysel vyžaduje rýchlu odozvu od výskumu k inováciám]*. In: *Communications : scientific letters of the University of Žilina*. - ISSN 1335-4205. - Vol. 19, no. 2A, s. 3-9 - Spôsob prístupu: http://www3.uniza.sk/komunikacie/archiv/2017/2a/2a_2017en.pdf, 2017
- [10] GREGOR M.: *Digitalizácia, budúce výrobné procesy a zamestnanosť*. ProIN – Productivity and Innovation, No.16, č.3, s.38-41 (ISSN 1339-2271) 2015
- [11] HALUŠKA M.: *ZIMS – koncept Žilinského inteligentného výrobného systému*. Žilinská univerzita, CEIT, 120s., Štúdia, CEIT-Š002-05-2012
- [12] HALUŠKA M.: *Rekonfigurovateľné výrobné systémy*. Písomná práca k dizertačnej skúške. Katedra priemyselného inžinierstva, Žilinská univerzita v Žiline, 65 s., 2014
- [13] HALUŠKA M., GREGOR M.: *Rekonfigurabilita holonického výrobného systému s podporou agentného prístupu*. Produktivita a inovácie, roč.14, č.6, s. 35-38, 2013
- [14] HALUŠKA M., GREGOR M.: *Rekonfigurovateľný logistický systém*. Výskumná správa č. CEIT-V009-06-2017, 33 s., 2017
- [15] KOREN Y.: *General RMS Characteristics: Comparison with Dedicated and Flexible Systems*. In *Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories*. Berlin: Springer Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-29391-0, 2006
- [16] KOREN Y., ULSOY G.A.: *Reconfigurable Manufacturing Systems*. NSF Engineering Research Center, College of Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, ERC/RMS Report #1, September 1997
- [17] KRAJČOVIČ M., RAKYTA M., DULINA L., GRZNÁR P., GAŠO M.: *Zásobovacia a distribučná logistika*. 1. vyd. Žilina: EDIS, 2018, 492 s., ISBN 978-80-554-1490-4
- [18] MONOSTORI L., VÁNCZA J., KUMARA S.R.T.: *Agent-Based Systems for Manufacturing*. In *CIRP Annals. Manufacturing Technology*. ISSN 0007-8506, 2006, vol. 55, no. 2, p. 697–720
- [19] SALVENDY G.: *Handbook of Industrial Engineering. Technology and Operations Management*. Third Edition. John Wiley & Sons, New York, 2001, ISBN 0471-33057-4
- [20] WESTKÄMPER E.: *Digital Manufacturing in the global era*. In: 3rd International CIRP Conference on Digital Enterprise Technology. Setúbal, Portugal, 18.-20.9.2006

ENTERPRISES OF THE FUTURE

Abstract

At the beginning of the 21st century, fundamental changes are taking place that will transform society as a whole. These changes affect many long-established production concepts. The chapter presents contemporary tendencies in the management of production enterprises. The following sub-chapters also present the latest trends in the development of enterprises and the selected technologies that form the framework for modern technological changes gradually taking place in manufacturing enterprises.