

AUTOMATYZACJA DYSKRETNYCH PROCESÓW WYTWARZANIA - MENEDŻERSKI PUNKT WIDZENIA

Maciej SZADKOWSKI, Jan SZADKOWSKI

Streszczenie: Próba podsumowania wiedzy o współczesnym stanie automatyzacji procesów, ze szczególnym podkreśleniem idei adaptacji i samoorganizacji. Przedstawiono informacje, które mogą zainteresować menedżerów, w tym o próbach budowy Biologicznych Systemów Wytwarzania.

Słowa kluczowe: automatyzacja, adaptacja, samoorganizacja, biologiczne systemy wytwarzania.

1. Wprowadzenie

Automatyzacja procesów zajmuje centralne miejsce w sformułowanych dotąd wizjach rozwoju technologicznego, np. w NGM Project (Next Generation Manufacturing Project, USA 1995 – 97) i w IMTR (Integrated Manufacturing Technology Roadmapping, rozpoczęty w 1998r.). Na dotychczasowym rozwoju automatyzacji zaważyły w sposób szczególny następujące kierunki:

- wykorzystanie techniki komputerowej do sterowania maszyn i urządzeń (systemy NC (Numerical Control), rozwijane od połowy XXw., w których dominowało sprzętowe rozwiązywanie zadań sterowania, a następnie – od połowy lat 60. – systemy CNC (Computer Numerical Control). Stosowanie sterowników komputerowych umożliwiło *programowanie urządzeń produkcyjnych z użyciem języków formalnych*, co w bardzo znaczny sposób zwiększyło elastyczność tych urządzeń, a także skróciło czasy i zmniejszyło koszty przygotowania produkcji oraz czasy przezbierania maszyn wytwórczych;
- rozszerzenie automatyzacji na procesy pomocnicze (transport, magazynowanie, czynności manipulacyjne), co Del. S. Harder z Ford Motor Company określił w 1945 r. jako automację (Automatic Production: „**a logical development in technical progress where automatic handling between machines is combined with continuous processing at machines**”). Można w tym miejscu wyrazić żal, że termin *automacja* nie przyjął się dotąd w języku polskim;
- powstanie (lata 60.) i rozwój *robotów przemysłowych*, urządzeń pozwalających na ogromne zwiększenie skali automatyzacji zarówno procesów głównych (spawanie, zgrzewanie, odlewanie, obróbka plastyczna, obróbka skrawaniem, malowanie, montaż, testowanie produktów), jak i pomocniczych (transport, czynności manipulacyjne, obsługa maszyn wytwórczych);
- *integracja czynności głównych i pomocniczych w urządzeniach o bardzo dużych możliwościach wytwórczych*, zwanych centrami obróbkowymi (Machining Center), bujny rozwój centrów tokarskich, tokarsko-frezarskich (często frezarsko-tokarskich – Mill-Turn), frezarsko-wytaczarskich, szlifierskich, centrów szybkiego prototypowania i inżynierii odwrotnej oraz pomiarowych). Tego typu integracja umożliwia znaczne zmniejszenie liczby operacji w procesach, ogranicza czynności

- transportowe i manipulacyjne i poprawia przejrzystość procesu;
 - możliwość łączenia sterowników komputerowych różnych urządzeń początkowo z „dużym komputerem”, a obecnie łączenie w sieci, na zasadzie sterowania rozproszonego; w sieci zarówno typu intranetu, jak i łączenie z internetem;
 - postępująca automatyzacja *systemów produkcyjnych* (linii przepływowych, gniazd przedmiotowych);
 - pojęcie *fabryki digitalnej* (DF, Digital Factory), które znalazło już definicję w VDI – Richtlinie 4499: „**sieć digitalnych modeli i metod, w tym do celów symulacji i wizualizacji 3D, umożliwiająca całościowe planowanie, realizację i sterowanie wszystkich istotnych procesów i zasobów fabryki**”. Autorzy [1] rozpatrują koncepcję DF *jako kontynuację idei CIM* (Computer Integrated Manufacturing), zwracając uwagę na to, że założenia CIM wyrażane w latach 80. XX w. nie zostały zrealizowane. Nie spełniono wymagań pełnego wspomaganie komputerowego całego cyklu powstawania produktu. Systemy planowania i sterowanie przebiegiem produkcji (PPS i nowsze systemy ERP) nie zapewniają pełnego zarządzania danymi i procesami, automatyzacja urządzeń okazała się nie dość elastyczna, wymiana danych pomiędzy różnymi systemami komputerowymi jest wciąż ograniczona, istnieje zbyt dużo języków w komunikacji człowiek – maszyna. Firmy i systemy produkcyjne nie osiągnęły również wystarczającego poziomu w zakresie zarządzania – nie zrealizowano w stopniu należywym *zarządzania procesami*. Również powiązanie w sieci wewnątrz firmy jest dotąd niewystarczające – nawet w gałęziach przemysłowych tak zaawansowanych technicznie jak przemysł samochodowy. „Przejrzystość” procesów (Transparentz) nie jest wystarczająca. Wady te powinna usuwać realizacja zamierzeń DF, wykorzystująca integrację takich systemów jak:
 - zarządzanie systemami biznesowymi,
 - zarządzanie danymi produktu (Product Data Management, PDM),
 - zarządzanie danymi symulacyjnymi (SDM),
 - zarządzanie tolerancjami,
 - projektowanie procesów (Computer Aided Process Planning)
 - zarządzanie projektami, zarządzanie wiedzą,
 - planowanie zasobów przedsiębiorstwa (ERP)
 - zarządzanie i sterowanie produkcją (PPS)
 - techniki CAD/CAM/CAQ/CAPP
 - metody symulacyjne
 - optymalizacja rozmieszczania obiektów (layout – planing)
 - wirtualna rzeczywistość (VR), rozszerzona rzeczywistość (AR), „teleprezencja”.
- Przyjmuje się, że rozwiązania DF obejmują cały cykl życia produktu, od wyłonienia się definicji produktu i *sformułowania* założeń systemu produkcyjnego, poprzez projektowanie procesów, symulację, optymalne rozmieszczenie obiektów i założenia monitorowania i sterowania przebiegiem operacji [2]. Pionierem we wprowadzaniu zasad DF jest przemysł samochodowy, oczekuje się szerokiego wprowadzenia tych technik w ciągu kilku lat.
- Tworzenie sieci łączących producentów z dostawcami i partnerami stanowi niezwykle ważną przesłankę dla rozwoju DF, zmierzającą do integracji funkcji projektowania i rozwoju produktu, wytwarzania części, montażu i logistyki.
- rozszerzanie zastosowań takich idei teorii sterowania jak *sterowanie adaptacyjne*

i samoorganizacja.

Artykuł zawiera krótkie przedstawienie wiedzy o systemach adaptacyjnych i samoorganizujących się.

2. Adaptacja i samoorganizacja systemów wytwórczych

Wg określenia R. Bellmana [3]: **”Dalszym krokiem, stanowiącym naturalne przedłużenie procesów optymalnych, stają się procesy adaptacyjne, w których oddziaływanie optymalne, pozostając optymalnym, przystosowuje się do zmieniających się i z reguła priori nie znanych właściwości samego procesu i środowiska, w którym zachodzi”**. Tak rozumiane właściwości adaptacyjne pojawiają się – pod różnymi nazwami – w koncepcjach dzisiejszych rozwiązań, takich jak: sterowanie adaptacyjne i nadzorujące obrabiarek i robotów (II i III generacja robotów), firmy fraktalne (Fractal Company), wytwarzanie holoniczne (Holonomic Manufacturing), wytwarzanie „zręczne” (Agile Manufacturing), wytwarzanie zrandomizowane (Random Manufacturing) i inne – obszerny wykaz literatury zawiera np. praca [4]. *Adaptacyjność jest tu zwykle określana jako elastyczność* (np. Flexible Manufacturing Systems), natomiast stosowane tu maszyny są często określane jako *inteligentne*.

Materiały firmowe GE Fanuc Automation CNC Deutschland GmbH zwracają uwagę na pojawienie się *trzeciej generacji automatycznych systemów produkcyjnych*. Generacji pierwszej można przypisać wskaźnikowo 24 godziny pracy zautomatyzowanej, tzn. przez całą dobę, z drugą i trzecią zmianą z niewielką obsługą ze strony personelu lub też bezzałogowo. Generację drugą (lata 90.) charakteryzuje liczba 72 godzin, odnosząca się do podobnej pracy w ciągu końca tygodnia. Generacja trzecia (lata 2000.) to 720 godzin pracy bez przerwy w ciągu miesiąca (720 = 30dni.3zmiany.8godzin). Chociaż wymienione liczby nie mają wspólnego poziomu odniesienia, to jednak charakteryzują wzrost poziomu automatyzacji, wyrażający się w znacznym spadku potrzeby zatrudniania ludzi w dzisiejszych systemach produkcyjnych.

Przy dzisiejszym wysokim poziomie automatyzacji urządzeń produkcyjnych, takich jak obrabiarki i maszyny współrzędnościowe oraz inne urządzenia pomiarowo - kontrolne, dalsze postępy automatyzacji obejmują w dużej mierze czynności manipulacyjne i transportowe, przejmowane przez *automatycznie kierowane wózki* (Automatically Guided Vehicles, AGV) i *inteligentne roboty*. Te ostatnie urządzenia są stosowane m.in. do automatyzacji pozycjonowania i mocowania przedmiotów obrabianych w uchwytach i paletach uchwytowych, co pozwala na nawet całkowite zrezygnowanie z pracy ręcznej w tym zakresie. Oferowana przez firmę Fanuc „Robot Cell”, trzeciej generacji, zawiera roboty wyposażone w urządzenia wizyjne (Vision Sensor), pozwalające na rozpoznawanie kształtu i położenia przedmiotów oraz na koordynację „oko-ręka”, co pozwala na:

- chwytanie przedmiotów nie zajmujących dokładnego położenia na palecie;
- reagowanie „podobnie jak człowiek” na zmiany wielkości i masy przedmiotów;
- uzyskanie wymaganej dokładności pozycjonowania .

Obraz z urządzenia wizyjnego podlega dwuwymiarowemu opracowaniu, położenie przedmiotu zostaje zidentyfikowane i przekazane do zespołu manipulacyjnego robota określonego jako „Servohand” (ramię o właściwościach adaptacyjnych), który chwytając przedmiot z siłą dostosowaną do wielkości i masy przedmiotu i umieszcza przedmiot w uchwycie.

Zastosowanie inteligentnych robotów pozwoliło również na zminimalizowane liczby potrzebnych palet i uchwytów, ograniczając znacznie koszty „urządzeń peryferyjnych”

niezbędnych do obsługi obrabiarek.

Firma Fanuc uważa, że w porównaniu z pierwszą generacją systemów produkcyjnych uzyskuje się teraz *oszczędność o 80% na kosztach pracy i o 40% na kosztach obróbki*. Równocześnie rośnie jakość produkcji i niezawodność systemu produkcyjnego.

Każda Robot Cell zawiera pięć lub sześć centrów obróbkowych obsługiwanych i powiązanych przy pomocy inteligentnych robotów. Uzyskuje się w ten sposób nie tylko wysoki poziom automatyzacji, ale również wysoką elastyczność, co jest osiąganym bez dużych kosztów dodatkowego wyposażenia (peryferyjnego), charakterystycznego dla systemów produkcyjnych poprzednich generacji.

Podsumowując można stwierdzić, że Robot Cell firmy Fanuc stanowi przykład elastycznego systemu produkcyjnego (FMS), zapewniającego relatywnie niskie koszty wytwarzania. *Pojawianie się takich systemów może odwrócić trend odchodzenia od systemów elastycznych jako urządzeń zbyt drogich.*

W rozwoju automatyzacji systemów produkcyjnych coraz większą wagę przywiązuje się do *systemów agentowych (Agent System; w języku polskim są wyrażane różnice zdań co do tego, czy w liczbie mnogiej są to agenci czy też agenty; ten pierwszy termin wydaje się bardziej przekonujący)*. „**Agent jest systemem komputerowym, działającym w środowisku dynamicznym, zdolnym do autonomicznego i inteligentnego zachowania się**” – artykuł przeglądowy [5]. Artykuł ten podkreśla rolę systemów agentowych i wieloagentowych (Multi - Agent Systems) m.in. w sterowaniu procesami oraz monitorowaniu i diagnostyce maszyn i procesów. Znajduje tu zastosowanie rozpoznawanie obrazów (Pattern Recognition), systemy ekspertowe (Expert Systems), sztuczne sieci neuronowe (Artificial Neural Networks), systemy rozmyte (Fuzzy Systems) oraz różne systemy hybrydowe.

Jeżeli chodzi o *praktykę automatyzowania systemów produkcyjnych*, to zwraca uwagę słabe - jak dotąd - przeniesienie *techniki on line* na urządzenia produkcyjne i łączenie tych urządzeń w sieci (Faktory Net) [6]. W wymienionym artykule jest przytoczony następujący wskaźnik: w biurach w Niemczech poziom komputeryzacji sieciowej wynosi ok. 90%, natomiast w przemyśle tylko ok. 53%. Brakuje szerszego wykorzystania przez wydziały produkcyjne zarówno Internetu jak i Intranetu. Oczekiwane efekty po *przejściu z pracy off line na on line (e Volution)* to:

- skrócenie cykli produkcyjnych i obniżka kosztów;
- polepszenie obsługi klientów;
- lepsza kontrola ilości i terminów w produkcji,
- lepsza ocena aktualnej zdolności produkcyjnej,
- lepsze wykorzystanie maszyn i urządzeń;
- usprawnienie czynności diagnostycznych, przeglądów i napraw urządzeń.

Dane o przyroście liczby robotów instalowanych w krajach uprzemysłowionych nie są jednoznaczne, szacując te liczby ostrożnie należałoby przyjąć *kilka do kilkunastu procent* rocznie, z wyraźnym wzrostem liczby robotów drugiej (roboty wyposażone w załączki „organów zmysłów”) i trzeciej generacji (systemy wizyjne, oprogramowanie wykorzystujące metody sztucznej inteligencji, *roboty inteligentne*). Wprawdzie [7] np. przemysł samochodowy w Niemczech zamówił w r. 2005 o 38% robotów mniej niż w 2004, to jednak nawet w r. 2005 niemieccy producenci robotów byli zadowoleni z bilansu (obrót w tym roku wyniósł 6,9 mld Euro, przeciętny roczny wzrost sprzedaży wyniósł w ciągu ostatnich 10. lat ok. 50%). Równocześnie *przeciętna cena robota w ciągu ostatnich 15 lat spadła o 75%*. Co drugi robot w tym okresie był przeznaczony do prac pomocniczych, a co czwarty do spawania. Użytkownicy oczekują *zwrotu nakładów w ciągu*

1-2 lat, co jest już zupełnie realne. W bieżącej literaturze fachowej zwraca się uwagę na znaczenie *robotyzacji procesów wytwarzania*, ze względu na:

- jakość produkcji, osiąganą m.in. dzięki stosowaniu systemów wizyjnych, realizujących bardzo skuteczną inspekcję – usuwanie części wadliwych z dalszej produkcji [7];
- możliwość rozszerzenia automatyzacji na operacje niebezpieczne lub uciążliwe dla ludzi (np. usuwanie zadziórów, wypływek i nadlewów, szlifowanie i polerowanie), także w aspekcie poprawy jakości (pracownik trzymając w ręku szlifowany taśmą przedmiot wykonuje dokładnie pierwsze 10 części, potem traci koncentrację i jakość spada [7]);
- znaczne zwiększenie wydajności; osiągnięte prędkości ruchów i pokonywane siły są nie do uzyskania przy ręcznym wykonywaniu prac - [7];
- postępy w technikach programowania robotów, osiągnięte zarówno w przypadkach programowania przez uczenie (on line) jak i programowania poza stanowiskiem pracy (off line), pozwalają na skrócenie czasów programowania i polepszenie jakości programów sterujących. Przykładem są pakiety ROBOGUIDE Sim PRO, Win OLPC i Win OLPC + firmy Fanuc Robotics;
- możliwości optymalizacji programów sterujących robotów wykonujących operacje obróbki przedmiotów o złożonej budowie geometrycznej [8];
- rozwój budowy narzędzi i głowic roboczych, jakimi posługują się roboty. Dotyczy to zwłaszcza chwytaków robotów, rozwijanych m.in. w kierunku większej elastyczności w sensie możliwości dostosowania się do różnych kształtów chwytanych części – np. trójpalczysty chwytak IPA- Hand opisany w artykule [9], który posiada dwa napędy elektryczne palców oraz sterownik na bazie jednoczipowego mikrokomputera;
- możliwość stosowania robotów w środowiskach niebezpiecznych dla ludzi, np. z powodu promieniowania radioaktywnego [10].

Osiągnięciami robotyki zasługującymi na szczególną uwagę są:

- roboty współpracujące z robotami [11, 12];
- roboty współpracujące z ludźmi [13, 14];

W obu przypadkach zachodzi konieczność rozwiązywania w czasie rzeczywistym problemów synchronizacji, koordynacji i bezpieczeństwa (*bezkolizyjności ruchów, nasuwa się tu nawiązanie do Trzech Praw Robotyki I. Asimowa*). *Zastosowania przemysłowe* znalazły już współpracujące ze sobą roboty firmy KUKA Roboter GmbH. Praca [11] zawiera opisy zrobotyzowanych stanowisk wykorzystujących roboty współpracujące z robotami: transport przedmiotów o sporych gabarytach i wymagających delikatnej manipulacji – transport dużych tafli szklanych - przez dwa współpracujące ze sobą roboty; obsługa prasy krawędziowej przez dwa roboty manipulujące arkuszami blach do 5mm grubości i do wymiarów 6900mm x 2900mm (ruchy obu robotów są skoordynowane z cyklem pracy prasy); stanowisko uszczelniania szwów w karoseriach samochodowych obsługiwane przez trzy roboty współpracujące ze sobą (stwierdzono, że współpracujące roboty zapewniają większą elastyczność stanowiska w porównaniu z rozwiązaniami bardziej tradycyjnymi – z kilkoma robotami o pewnej niezbędnej koordynacji ruchów, jednak bez wzajemnie kolizyjnych przestrzeni roboczych i bez konieczności wspólnego wykonywania złożonych czynności manipulacyjnych); uniwersalne stanowisko do różnych prac, przy których udział współpracujących ze sobą robotów pozwala na m.in. uniknąć stosowania bardziej specjalizowanego oprzyrządowania do przestrzennego orientowania i pozycjonowania przedmiotów.

Wspomaganie przez roboty procesu montażu jest proponowane również, jako sposób umożliwiający zatrudnianie *personelu o zmniejszonych możliwościach wykonywania pracy (ludzie niepełnosprawni)* [15]. W wymienionej publikacji opisano moduł produkcyjny montażu (Montagezelle), przeznaczony do sporządzania palet z drewna, którego konstrukcja oraz niezbędne urządzenia zabezpieczające umożliwiają bezpieczną, wydajną i odciążającą ludzi od wysiłku fizycznego *współpracę personelu z robotem*.

Również problemy zatrudnienia personelu, który z wiekiem staje się niepełnosprawny mogą być rozwiązywane poprzez automatyzację i robotyzację m.in. montażu [16].

Przedmiotem badań w zakresie techniki i automatyzacji montażu jest również montaż *urządzeń związanych ze zdrowiem i medycyną* [17]. Powołany artykuł zwraca m.in. uwagę na:

- regulacje prawne narzucające bardzo wysokie wymagania co do jakości urządzeń medycznych;
- niedostatek rozwiązań procesów montażu o wysokim stopniu automatyzacji;
- istnienie rozwiązań specjalnych w zakresie elastycznego zautomatyzowanego montażu urządzeń medycznych. Zastosowanie znajdują tu roboty o różnej budowie: kartezjańskie (cartesian), przegubowe (articulated) i roboty SCARA;
- rosnące zapotrzebowanie na zautomatyzowane urządzenia do mikro- i nanomontażu, w tym na mikrofabryki.

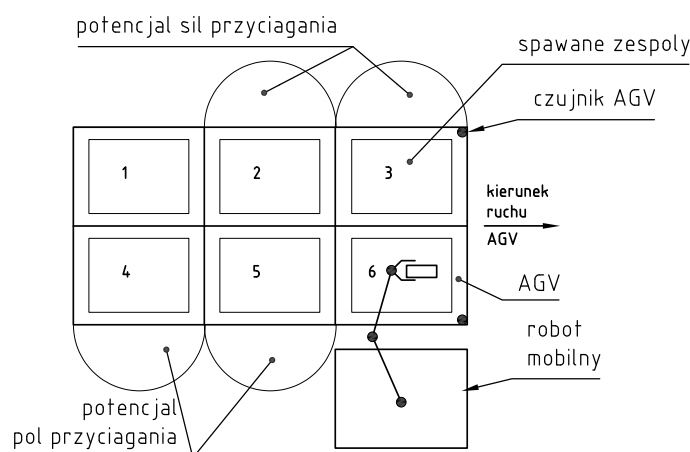
Autorzy pracy [17] wyrażają pogląd, że **„ekonomiczny i dający się rozwijać elastyczny system automatycznego montażu mógłby tu zrewolucjonizować rynek”**. Praca ta porusza również problem „*samomontażu*” (*self assembly*) inspirowanego przez organizmy żywe, w których budowa tkanki organicznej z molekuł jest sterowana informacją zawartą w DNA.

Samoorganizacja jest taką formą adaptacji, w której system podlega *zmianom struktury*, zmierzającym do lepszego dostosowania się do aktualnych warunków działania. W zakresie systemów produkcyjnych zainteresowanie samoorganizacją pojawiło się w latach 60. (w b. ZSRR prace na temat „**samoorganizujących się maszyn automatów**”; w Japonii od początku lat 70. realizowany był projekt MUM (Methodology for Unmanned Manufacturing), obejmujący m.in. idee **systemów metamorficznych** o budowie komórkowej – kapsułarnych, prowadzących wg [18] do *fabryk bezzatogowych*, zdolnych do szybkiego dostosowywania struktury produkcyjnej do aktualnych zadań). Współcześnie rozwijane są **systemy rekonfigurowalne** [19] oraz **biologiczne systemy wytwórcze (BMS)** [4, 20]. O ile pojęcie systemów rekonfigurowalnych zostało już dobrze spopularyzowane – np. [4, 19], to BMS są stale we wczesnym stadium rozwoju. W związku z tym warto poświęcić im tutaj uwagę.

BMS pojawiają się wraz z ideami *syntezy wylaniania się* – *Emergent Synthesis* [4] oraz koncepcji *autopoiesis* (*Autopoietic Approach* – [20], wywodzących się z kręgu nauk filozoficznych i biologicznych, a przenikających do nauk społecznych i technicznych. Pojęcie Emergent Synthesis jest - w rozumieniu autorów – bliskie pojęciu ewolucji: **„In a historical perspective, the discussion of emergence addressed the origin of qualitatively new structures and functions, which are non reducible to those already in existence”** [4]; ewolucji, w której powstają nowe rozwiązania systemów przedstawiające nową jakość. Autopoiesis natomiast określają Autorzy [20], powołując się na twórcę tego terminu biologa Murana, jako: **„the ability of a system to generate its specific constitution – its components (structure) and their interplay (organization) – on its own”**. Próbując powyższe krótko podsumować, autorzy sądzą, że – w odniesieniu do systemów produkcyjnych – oznacza to próby nadania im właściwości do samoczynnego kształtowania

struktur poprzez szeroką autonomię i bogate właściwości adaptacyjne ich podsystemów. Można to prześledzić na przykładzie koncepcji systemu opisanego w pracy [21], w którym: „Self – organization ... is defined as the process of emerging global behaviour as results from local interactions among system elements”.

System ten składa się z robotów spawających oraz automatycznie kierowanych wózków (AGV – Automatically Guided Vehicle), jest przeznaczony do spawania karoserii samochodowych. AGV odczytują zadania produkcyjne z nośników informacji związanych z przeznaczonymi do wytwarzania zespołami. Na rys.1 jest pokazany schematycznie AGV z zespołami spawanymi 1...6. Zespół 1 jest już zespawany, zespół 6 jest w trakcie spawania przez robota mobilnego. Zespoły 2...5 oczekują na roboty, przyciągając je przez wytwarzanie potencjału pól przyciągania (gradient pola odpowiada sile przyciągania).



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie samoorganizującego się systemu produkcyjnego

W systemie występują również pola odpychania (np powodujące ruch AGV i zapobiegające kolizjom robotów). Potencjały są wyczuwane przez sensory, co powoduje wzajemne ruchy AGV i robotów. Badania symulacyjne systemu wykazały, że jeżeli rozpocząć od losowego rozmieszczenia AGV i robotów, to przyjęte w budowie i sterowaniu systemu zasady samoorganizacji powodują stopniowe pojawienie się pewnych form struktury, sprzyjających dobrej wydajności systemu. Na podstawie wyników badań zbudowano *minifabrykę*, służącą do dalszych badań.

3. Podsumowanie

Menedżerowie i biznesmeni rozpatrują zwykle problemy automatyzacji w kategoriach podstawowych wskaźników ekonomicznych i technicznych: zapotrzebowania na kapitał i na wielkość zatrudnienia, długości cykli produkcyjnych, istniejącego i dającego się przewidzieć lub wykreować popytu na produkty firmy, rozwoju produktów, utrzymywania i rozszerzania pozycji firmy i jej udziału w rynku, itp. Automatyzacja procesów oddziałuje w bardzo istotny sposób na wszystkie aspekty działalności przedsiębiorstwa. Obserwuje się obecnie zarówno pewien spadek cen urządzeń automatyzacji, jak i rosnący

obszar automatyzowanych funkcji – sięgający poziomu samoorganizacji. Zatrudniani ludzie są w coraz to większy sposób wypierani w kierunku prac o coraz to wyższych walorach intelektualnych.

Literatura

1. Reinhart G., Schack R., Müller S.: Mit Durchhaltenvermögen zum Erfolg. Werkstatt + Betrieb, 9/2006, s. 128-133.
2. Tschauner J.: Faster und safer. MM EMO Journal. 2005, s. 567-577.
3. Bellman R.: Adaptacyjne procesy sterowania. PWN, Warszawa, 1965.
4. Ueda K., Markus A., Monostori L., Kals H.J.J., Arai T.: Emergent Synthesis Methodologies for Manufacturing, Annals of the CIRP, Vol. 50/2, 2001, s. 535-551.
5. Monostori L., Váncza J., Kumara S.R.T.: Agent – Based Systems for Manufacturing. Annals of the CIRP Vol. 55/ 2, 2006, s. 697-720.
6. Brankamp K.: E-Mails an die Drehmaschine. Werkstatt + Betrieb, 1-2/2006, s. 76-77.
7. Pfeiffer F.: Es geht zukünftig nur noch mit Automatisierung. Interview mit Tilo Brodtmann, der Geschäftsführer von VDMA Robotik + Automation. Werkstatt + Betrieb, Nr 5/2006 s. 26-28.
8. Krewet C., Kuhlenkötter B., Schüppstuhl T.: Optimierung robotergestützter Fertigungsprozesse. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 3, s. 108-112.
9. Wegener K.: Flexibles Greifen von Bauteilen. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 3, s. 91-96.
10. Zäh M. F., Harfensteller M., Eursch A.,a : Prozessautomatisierung in radioaktiven Umgebungen . wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 3, s. 113-117.
11. Kurth J.: Flexible Produktionsysteme durch kooperierende Roboter. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 3, s. 81-84.
12. Feldmann K., Sutanto A., Brossog M: Kollaborative 3D- Montageplanung über das Internet. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 9, s. 620-626.
13. Helms E., Meyer C.: Assistor – Mensch und Roboter rücken zusammen. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 9, s. 677-683.
14. Kurth J., Klüger H.-P.: Mensch – Roboter Kooperation durch Safe Robot Technology. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 9, s. 672-676.
15. Zäh M. F, Wagner W., Guserle R,c.: Integration leistungswandelnder Mitarbeiter mit Hilfe von Roboterunterstützung. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 3, s. 97-101.
16. Zäh M. F, Wagner W., Prasch M.,d: Montagestrukturen für alternde Belegschaften. wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 95 (2005) H. 9, s. 637-642.
17. Williams D.J., Ratchew S., Chandra A., Hirani H.: The Application of Assembly and Automation Technologies to healthcare Products. Annals of the CIRP Vol. 55/ 2/ 2006, s. 617-642.
18. Yoshikawa H.: Unmanned Machine Shop Project in Japan. Advances in Computer Aided Manufacture. Amsterdam, N. York, Oxford, North-Holland Pub. Comp., 1977.
19. Koren Y., Heisel U., Jovane F., Moriwaki T., Pritschow G., Ulsoy.G., Van Brussel H.: Reconfigurable Manufacturing Systems. Annals of the CIRP, Vol. 48/2, 1999, p. 527 - 540.
20. Thannhuber M., Tseng M.M., Bullinger H.-J.: An Autopoteic Approach for Building Knowledge Management Systems in Manufacturing Enterprises, Annals of the CIRP, Vol. 50/1, 2001, s. 313-318.

21. Ueda K., Hatono I., Fujii N., Vaario J.: Line-Less Production System Using Self-Organization: A Case Study for BMS, Annals of the CIRP, Vol. 50/1, 2001, s. 319-322.

Prof. dr hab. inż. Jan SZADKOWSKI
Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji
Akademia Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej
43-300 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2,
tel. (33) 82 79 213
e-mail: ktmia@ath.bielsko.pl

Mgr Maciej SZADKOWSKI
ul. mjra H. Sucharskiego 46
43-300 Bielsko-Biała
tel. (33) 811 96 08