

KIERUNKI ROZWOJU ROBOTYKI W ASPEKCIE PROJEKTOWANIA WSPÓŁCZESNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH

Lukasz SOBASZEK, Arkadiusz GOLA, Antoni ŚWIĆ

Streszczenie: Globalna konkurencja i jednoczesny rozwój techniki i technologii stawiają przed przedsiębiorstwami wyzwania, których efektem jest konieczność zmiany podejścia do projektowania i eksploatacji systemów produkcyjnych. W miejsce klasycznych systemów wytwórczych pojawiają się systemy charakteryzujące się wysokim poziomem elastyczności, automatyzacji, a także możliwością rekonfiguracji. Jednym z elementów mających kluczowy wpływ na kierunki rozwoju systemów wytwórczych było pojawienie się robotyzacji i zastosowanie robotów przemysłowych dla potrzeb realizacji procesów transportowych i/lub manipulacyjnych w sferze produkcji. Rozwój robotyki stał się tym samym wyznacznikiem rozwoju współczesnych systemów produkcyjnych. Celem niniejszego artykułu jest ukazanie prawdopodobnych kierunków rozwoju robotyki przemysłowej z punktu widzenia aktualnych wymagań i trendów w procesie projektowania systemów produkcyjnych.

Słowa kluczowe: robotyka, robotyzacja, produkcja, automatyzacja wytwarzania, projektowanie, systemy produkcyjne, systemy wytwórcze.

1. Wprowadzenie

Współczesny rynek niewątpliwie można określić mianem silnie konkurencyjnego. Głównym kryterium celu produkcji stają się czas i koszt. Przedsiębiorstwa, chcąc zaspokoić potrzeby konsumentów muszą sprawnie realizować procesy produkcyjne przy jednoczesnym zapewnieniu minimalnych kosztów wytwarzania. Wymagania te stymulują nieustanny rozwój oraz usprawnianie procesów, jak też zmianę podejścia do projektowania systemów produkcyjnych [1-3].

Obok postępującej globalizacji i zwiększonej presji konkurencyjnej ze strony rynku kluczowym elementem mającym wpływ na kierunki rozwoju systemów produkcyjnych stał się niespotykany dotąd postęp w technice i technologii – zarówno na poziomie maszyn technologicznych, urządzeń realizujących operacje pomocnicze, jak też systemów komunikacji i sterowania systemami wytwórczymi. Przełomowym momentem mającym wpływ na kierunek rozwoju systemów produkcyjnych było pojawienie się robotów przemysłowych, które dziś znajdują zastosowanie nie tylko w wielkich koncernach, ale coraz częściej także w małych i średnich przedsiębiorstwach produkcyjnych [4]. O rosnącym znaczeniu robotyki, decydują korzyści z jej wdrożenia i zastosowania w procesach przemysłowych, przejawiające się m.in. w [5]:

- szybkości działania – robot potrafi pracować szybciej od człowieka, a przy tym nie potrzebuje czasu na przerwy,
- precyzji i powtarzalności – współczesne roboty osiągają dokładność sięgającą nawet do tysięcznych części milimetra, a powtarzalność pozycji może wynosić $\pm 0,02$ mm,

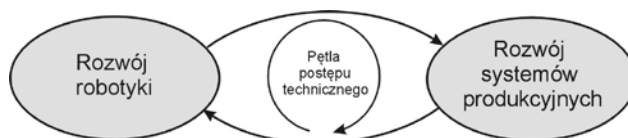
- niezawodności – szacunkowy czas niezawodnej pracy robota to kilka lat,
- zwiększeniu wydajności – co jest wynikiem szybkości pracy robota oraz wydłużeniu czasu pracy (praca bez przerw),
- możliwości pracy w trudnych warunkach – roboty do prac specjalnych mogą pracować bezpiecznie w warunkach szkodliwych dla człowieka (wysoka temperatura, duże ciężary, wysokie zapylenie, hałas, środki chemiczne).

Do niedawna roboty w systemach produkcyjnych rozumiane były tylko i wyłącznie jako urządzenia manipulacyjne [6]. Fakt ten powodował, iż wykorzystywane były w nielicznych podsystemach i pełniły funkcje typowo transportowe. Współcześnie roboty znajdują zastosowanie w wielu obszarach systemów produkcyjnych realizując nie tylko operacje pomocnicze ale wiele różnorodnych operacji technologicznych. Obecnie powszechne staje się zastosowanie robotów do takich czynności jak [7]:

- spawanie – jest coraz częściej implementowanym rozwiązaniem; główną zaletą są doskonałe parametry spawania osiągnane dzięki precyzji, szybkości oraz powtarzalności robotów spawających,
- malowanie oraz lakierowanie – zastosowanie robotów w procesach tego typu podyktowane jest głównie szkodliwymi warunkami pracy; dodatkową korzyścią jest wysoka jakość malowanych powierzchni, a także wzrost wydajności,
- klejenie oraz dystrybucja czynników – robot pozwala na bardzo dokładne rozprowadzenie czynnika zarówno po prostych, jak i skomplikowanych krzywiznach,
- wykonywanie procesów pomocniczych – zastosowanie robota w procesach czyszczenia, polerowania czy szlifowania.

Mimo zmieniających się trendów roboty wciąż pomocne są w procesach sortowania (określanego też angielskim mianem „*pick & place*”) montowania czy paletyzacji.

Wszechstronność i zalety z zastosowania robotów w procesach wytwórczych zmieniają paradygmaty i kryteria projektowania systemów produkcyjnych, które obecnie bardzo często traktują roboty jako podstawowy element projektowanego systemu [8]. W konsekwencji tworzy się więc sprzężenie zwrotne określające trendy w rozwoju robotyki przemysłowej i projektowaniu systemów wytwórczych (Rys. 1).



Rys. 1. Sprzężenie zwrotne w pętli postępu technicznego

W niniejszym artykule, na bazie aktualnych wymagań i trendów w rozwoju systemów produkcyjnych, podjęto próbę wskazania możliwych kierunków rozwoju w obszarze robotyki przemysłowej. W szczególności skupiono się na zagadnieniach związanych z wirtualnym projektowaniem zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych, autonomiczności robotów i możliwości ich współpracy z człowiekiem, a także możliwości wykorzystania robotów w obróbce mechanicznej.

2. Geneza i rozwój robotyki przemysłowej

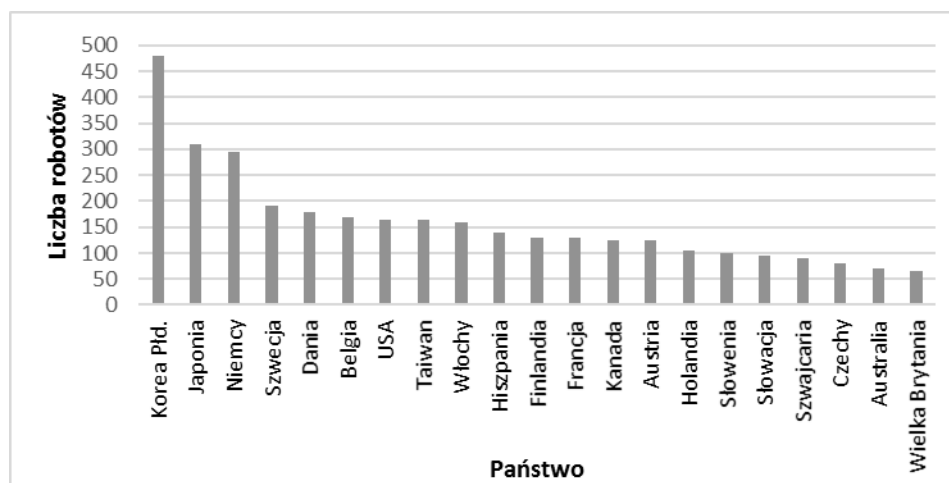
Słowo „robot” jest dość młodym stwierdzeniem, gdyż pojawiło się w początkach XX wieku. Początkowo „robotami” określano sztuczne istoty będące imitacją człowieka, które

charakteryzowały się dużym zdyscyplinowaniem oraz efektywnością pracy. Pierwsze próby budowania robotów polegały zatem na konstruowaniu robotów czelakokształtnych. Nie miały one jednak żadnego zastosowania przemysłowego [6].

Z upływem lat słowo „robot” zmieniło jednak swoje znaczenie. Obecnie tym mianem określa się automatyczne maszyny realizujące czynności normalnie wykonywane przez człowieka. Pierwsze zastosowanie robotów w przemyśle dotyczyło zastępowania człowieka na stanowiskach uciążliwych i szkodliwych warunkach pracy. Implementacja robotów w przemyśle została zainicjowana przez postęp w dziedzinie obrabiarek sterowanych numerycznie. Rozwój układów napędowych, pomiarowych oraz sterujących umożliwił konstruowanie pierwszych maszyn manipulacyjnych z programowanym sterowaniem [6].

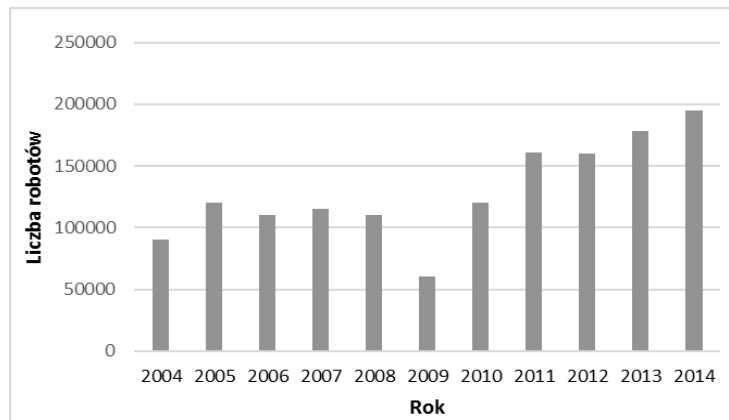
Pierwsze roboty pojawiły się w amerykańskim przemyśle samochodowym, lecz były to zaledwie jednostkowe wdrożenia. Dopiero w 1967 r. po raz pierwszy w historii sprzedano 48 sztuk robotów. Rok później rozpoczęto produkcję robotów w Japonii oraz Europie. Od tego czasu zarówno liczba zainstalowanych robotów, jak i ich sprzedaż wykazują tendencję wzrostową [6, 9].

W najnowszym raporcie Międzynarodowej Federacji Robotyki zostały zaprezentowane dane dotyczące najbardziej zrobotyzowanych przemysłów na świecie (wyrażone w liczbie robotów przypadających na jednego pracownika przemysłu). Z opublikowanych danych wynika, iż najbardziej zrobotyzowany przemysł posiada Korea Południowa (478 maszyn na pracownika), następną jest Japonia (314 maszyn na pracownika), a kolejne są Niemcy (292 maszyny na pracownika). Średnia światowa wynosiła 66 robotów na pracownika (rys. 2) [10].



Rys. 2. Liczba robotów przypadających na jednego pracownika w poszczególnych państwach [10]

Zwiększenie zjawiska robotyzacji produkcji przekłada się także na wzrost sprzedaży robotów. Analizując wykres dotyczący sprzedaży robotów przemysłowych w latach 2004-2014 (rys. 3) należy przyznać, że o ile w latach 2005-2008 utrzymywała się ona na stałym poziomie, to po roku 2010 wciąż wzrasta [9]. Według najnowszych danych międzynarodowej Federacji Robotyki w roku 2015 nastąpił wzrost sprzedaży robotów przemysłowych o 8 % [10].



Rys. 3. Sprzedaż robotów przemysłowych w latach 2004–2014 [9]

W przeciągu najbliższych lat prognozuje się dalszy rozwój sprzedaży robotów przemysłowych. Duży wzrost notuje się w państwach, gdzie robotyzacja jest zjawiskiem bardzo popularnym (Chiny, Korea Południowa), ale także w krajach Afryki, gdzie w roku 2013 zanotowano wzrost liczby sprzedanych robotów o 80% w stosunku do roku poprzedniego (700 robotów). Dla przykładu w Europie wzrost ten wyniósł 5% (43 tys. robotów), a w USA – 8% (30 tys. robotów). Zakupione roboty znajdują zastosowanie głównie w branży motoryzacyjnej, elektrycznej oraz przetwórstwa metali [9].

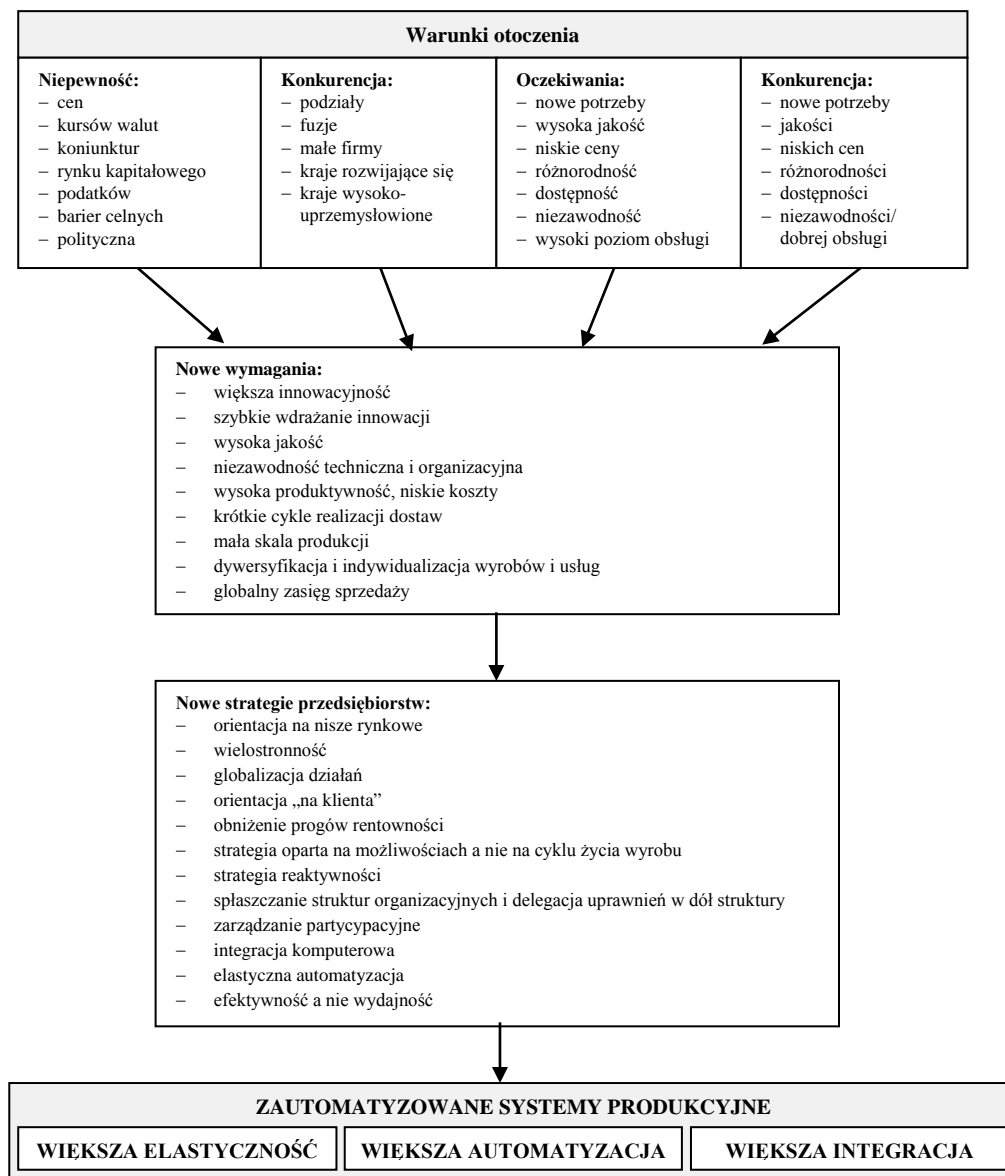
Wzrost liczby sprzedawanych, a także wdrażanych robotów stymuluje ciągły rozwój w dziedzinie zastosowania robotów w systemach produkcyjnych. Konsekwencją jest pojawianie się nowych trendów w obszarze projektowania systemów produkcyjnych.

3. Aktualne wymagania i kierunki rozwoju systemów produkcyjnych

Ewolucja systemów wytwarzania wynika z potrzeby dostosowywania się do aktualnych i przewidywanych warunków rynkowych oraz ze zmian w technice i technologii wytwarzania, wspieranych gwałtownym rozwojem komputeryzacji, robotyzacji i automatyzacji procesów [11]. W przeszłości, systemy produkcyjne były projektowane pod kątem funkcjonowania w stabilnym środowisku. W dzisiejszych dynamicznych warunkach systemy muszą mieć możliwość produkcji zmiennego asortymentu w zróżnicowanych ilościowo partiach wyrobu [12]. Tym samym wydaje się konieczne tworzenie systemów produkcyjnych bazujących na rozwiązaniach technicznych i organizacyjnych, zapewniających wysoką efektywność funkcjonowania przedsiębiorstwa przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich wymogów związanych z oczekiwaniami rynku [13].

W związku z powyższym, czynnikami o kluczowym znaczeniu, wyznaczającymi kierunek rozwoju systemów produkcyjnych stały się elastyczność, automatyzacja i integracja (rys. 4).

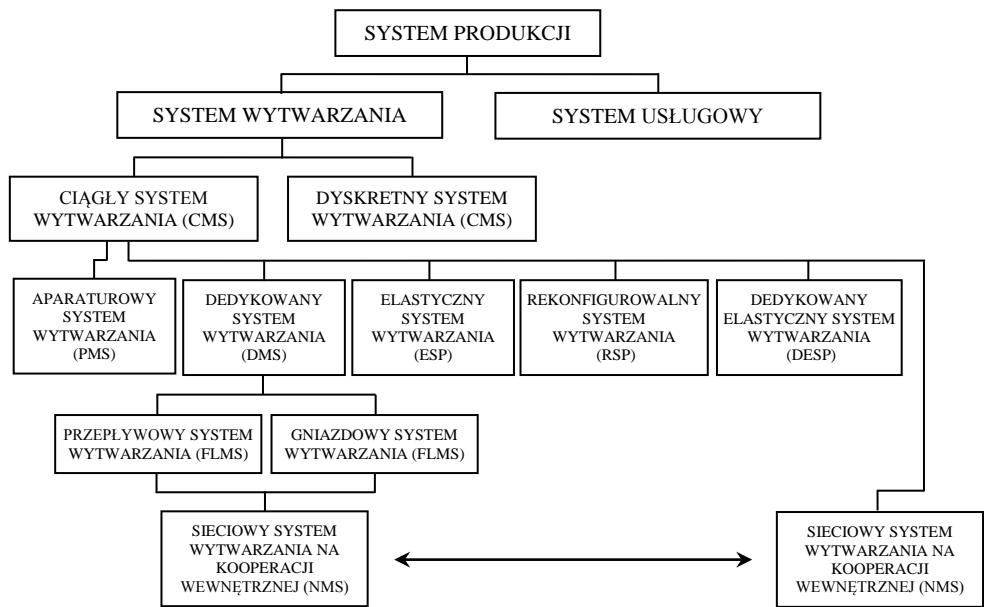
W konsekwencji powstałe przesłanki ekonomiczne, organizacyjne i psychologiczno-społeczne, jak również szybki postęp w zakresie technologii wytwarzania i technik komputerowych doprowadziły do szerokiego zastosowania w przemyśle obrabiarek sterowanych numerycznie, robotów przemysłowych oraz komputerowych systemów sterowania produkcją. Stało się to fundamentem dla rozwoju zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemów wytwórczych charakteryzujących się wysokim poziomem elastyczności, automatyzacji integracji [14]. Przedstawicielami najnowszych rozwiązań



Rys. 4. Determinanty rozwoju nowoczesnych systemów produkcyjnych [3]

w zakresie systemów produkcyjnych są elastyczne systemy produkcyjne (ESP), rekonfigurowalne systemy produkcyjne (RSP), systemy produkcyjne o sparametryzowanym poziomie elastyczności (DESP) a także sieciowe systemy wytwarzania oparte na zewnętrznej kooperacji (NMS) – rys. 5.

Elastyczne systemy produkcyjne (ESP) to systemy, w których nastąpiło połączenie sterowanych numerycznie obrabiarek CNC zintegrowanych przez zautomatyzowany transport i magazynowanie oraz wspólne sterowanie komputerowe. ESP w swej konfiguracji muszą zawierać maszyny i urządzenia produkcyjne (CNC), urządzenia



Rys. 5. Podział systemów produkcji i wytwarzania [11]

transportowe: roboty przemysłowe, wózki kierowane automatycznie (AGV), transportery, przenośniki, suwnice, magazyny: centralne (AS/RS), lokalne, bufory międzyoperacyjne, sieć nadzorujących komputerów i mikroprocesorów. Są one przeznaczone do produkcji realizowanej w partiach, w obrębie wyrobów podobnych technologicznie [11].

Rekonfigurowalny system wytwarzania (RSP) to system zaprojektowany pod kątem możliwości szybkiego dostosowania funkcjonalności i posiadanych zdolności do zadań wynikających ze zmiennego zapotrzebowania rynku przez zmianę struktury systemu zarówno w sferze urządzeń, jak i oprogramowania [2]. Rekonfiguracja oznacza w praktyce gotowość do dodania czy wyodrębnienia z istniejącej struktury, usunięcia lub wymiany: jednego bądź kilku elementów w strukturze systemu, ewentualnie zmiany ich powiązań. Istotą rekonfigurowalnych systemów wytwarzania jest połączenie dedykowanych i elastycznych systemów produkcyjnych z jednoczesnym ukierunkowaniem na: maksymalne skrócenie czasu uruchomienia produkcji nowego wyrobu w systemie, minimalizację kosztów związanych z projektowaniem systemu dostosowanego do produkcji nowego wyrobu oraz eliminowanie kosztów związanych z nadmiernym poziomem elastyczności systemu [2, 3, 14].

Dedykowane elastyczne systemy produkcyjne (DESP) to system zbliżony do elastycznego systemu produkcyjnego. Podstawową różnicą pomiędzy ESP a DESP jest zakładany poziom elastyczności i długość cyklu życia obydwu systemów. O ile w przypadku elastycznych systemów produkcyjnych ESP założeniem jest aby system zapewniał maksymalny możliwy poziom elastyczności wytwarzania – w przypadku DESP mówi się o zdefiniowanej w oparciu o prognozy ograniczonym poziomie elastyczności systemu. W konsekwencji dedykowane elastyczne systemy produkcyjne z jednej strony charakteryzują znacząco niższym kosztem projektowania - z drugiej jednak krótszym cyklem życia systemu [1, 14].

Sieciowe systemy wytwarzania (NMS) tworzone są z podstawowych elementów (obiektów) połączonych ze sobą tzw. siecią zależności. Sieciowe systemy wytwarzania to nowa kategoria systemów bazująca na tzw. układach sieciowych, charakteryzująca się maksymalną elastycznością struktury celowo projektowanej na tzw. granicy spójności systemu [11].

Szczegółowa analiza założeń przedstawionych powyżej systemów produkcyjnych pozwala stwierdzić, iż roboty przemysłowe stanowią w nich ważną (często wręcz kluczową rolę). Rozwój robotyki pozostaje więc integralnym wyznacznikiem ich rozwoju.

4. Nowe wyzwania i trendy w robotyzacji procesów produkcyjnych

Współcześnie zaobserwować można znaczący wzrost wdrożeń robotów przemysłowych w procesach produkcyjnych. Fakt ten determinuje głównie wzrost świadomości odnośnie korzyści ze stosowania robotów, ale także szerokie możliwości implementacji robotów. Coraz częściej także w obszarze ich stosowania pojawiają się liczne nowe trendy. Poniżej zaprezentowano kilka przykładów aktualnych rozwiązań, które wpisują się w koncepcję rozwoju współczesnych systemów produkcyjnych

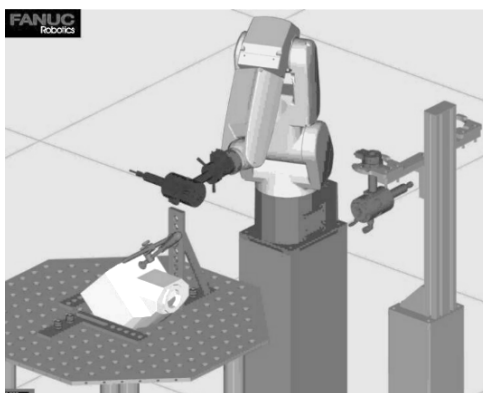
4.1. Wirtualne projektowanie zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych

Przedsiębiorstwo produkcyjne rozpatrujące budowę zrobotyzowanego stanowiska produkcyjnego jako główne kryterium wdrożenia najczęściej stawia koszt inwestycji. Podstawą implementacji takiego rozwiązania są informacje dotyczące opłacalności wdrożenia oraz czasu w jakim nastąpi zwrot poniesionych kosztów [15]. Kolejnym z rozpatrywanych aspektów jest także odpowiednie wykorzystanie dostępnej przestrzeni produkcyjnej. Niezbędna jest zatem dokładna analiza przyszłych warunków pracy robota. Może się bowiem okazać, iż dostępna przestrzeń jest niewystarczająca, a robot będzie wchodził w kolizję ze znajdującymi się w pobliżu maszynami technologicznymi, elementami linii transportowej, bądź innym wyposażeniem hali produkcyjnej [5].

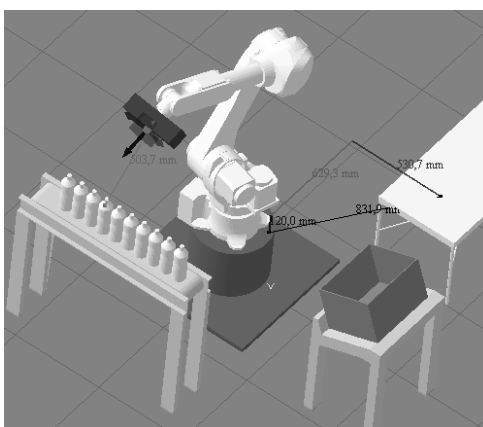
Dlatego też coraz częściej dużym zainteresowaniem cieszy się zagadnienie wirtualnego projektowania zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych [16-17]. Wykorzystanie dostępnego oprogramowania pozwala na uzyskanie informacji na wiele pytań już na etapie projektowania zrobotyzowanego stanowiska produkcyjnego.

Obecnie istnieje szereg programów komputerowych pozwalających na symulację pracy robota w dowolnym gnieździe produkcyjnym. Oprogramowanie tego typu służy głównie do programowania off-line oraz symulacji pracy robota w zdefiniowanym środowisku. Większość popularnych środowisk symulacyjnych jest wydawanych przez firmy produkujące roboty (rys. 6). Do najpopularniejszych programów należy zaliczyć: RoboStudio (ABB), KUKA.Sim Pro (KUKA), MotoSIM EG-VRC (Yaskawa), RoboGuide (FANUC) czy K-ROSET (Kawasaki) [18].

Większość z wymienionych środowisk charakteryzuje się podobną budową i zbliżonymi możliwościami – dostępna jest szeroka gama modeli robotów, chwytaków oraz elementów składowych środowiska pracy (m. in. barier, linii transportowych, obrabiarek, elementów roboczych). Możliwe jest także korzystanie z wirtualnego kontrolera robota oraz zaprogramowanie robota w trybie off-line. Programy tego typu pozwalają także na przeprowadzenie wielu analiz – wykrywanie kolizji, szacowanie czasu pracy, dokonywanie pomiarów odległości i wiele innych (rys. 7).



Rys. 6. Przykład zrobotyzowanego stanowiska – zautomatyzowane gratowanie [18]



Rys. 7. Moduł wykonywania pomiarów w wirtualnym środowisku robota

Zastosowanie tej klasy oprogramowania z łatwością pozwala oszacować koszty pracy robota, znaleźć optymalne zagospodarowanie przestrzeni roboczej, czy rozpatrywać alternatywne rozmieszczenie elementów składowych systemu wytwórczego. Niewątpliwą zaletą tego typu rozwiązań jest także możliwość łatwego zaimplementowania opracowanego modelu w rzeczywistym, zrobotyzowanym gnieździe produkcyjnym.

4.2. Aspekt współpracy robotów przemysłowych

Pojęcie „współpracy” w odniesieniu do robotów przemysłowych zazwyczaj rozumiane jest jako wymiana informacji pomiędzy poszczególnymi maszynami w zrobotyzowanym gnieździe wytwórczym. Niemniej jednak współcześnie wyróżnić można inne kluczowe obszary współpracy robotów przemysłowych [19]:

1. **Współpraca pomiędzy robotami**, która występuje zazwyczaj w zrobotyzowanych gniazdach wytwórczych – niezbędne jest wówczas zapewnienie odpowiedniej komunikacji, która realizowana jest przez typowe, przemysłowe protokoły komunikacyjne (PROFIBUS, Interbus S, MODBUS) [20] bądź poprzez obsługę robotów za pomocą wspólnego kontrolera [21]. W obszarze tym można także

umieścić komunikację pomiędzy urządzeniami gniazda produkcyjnego prace robotów – stołami pozycjonującymi, obrabiarkami CNC, czy maszynami dedykowanymi dla konkretnych procesów (np. owijarkami do palet).

2. **Komunikacja robota z urządzeniami peryferyjnymi** może być także rozpatrywana w aspekcie współpracy. Różnego rodzaju czujniki, czy specjalne oprzyrządowanie wymaga niejednokrotnie komunikacji z robotem. Ponadto elementy chwytne robota (mechaniczne, pneumatyczne czy elektryczne) sterowane są za pomocą kontrolera robota, a zatem także wymagają odpowiedniej komunikacji [20].
3. **Kooperacja z człowiekiem**, która stanowi najnowszy kierunek w rozwoju robotyki. Coraz częściej w procesie integracji robota ze środowiskiem produkcyjnym zmniejsza się ilość barier bezpieczeństwa, zastępując je czujnikami wbudowanymi w roboty, systemami wizyjnymi oraz odpowiednim oprogramowaniem. Ponadto niektóre roboty można programować metodą uczenia przez demonstrację, co znacznie przyspiesza i ułatwia ich programowanie. Roboty tworzone z myślą o współpracy z człowiekiem często są mniejsze gabarytowo od typowych robotów przemysłowych. Ich kompaktowa wielkość pozwala na przenoszenie robota pomiędzy fragmentami linii produkcyjnej. Istnieje wiele gotowych rozwiązań proponowanych przez licznych producentów robotów. Przykładem mogą tu być roboty: ABB's YuMi, Baxter czy UR3 Universal Robots. Jednak roboty współpracujące z człowiekiem mają też wady, jak na przykład mniejsza maksymalna prędkość ruchów (podyktowana kwestiami bezpieczeństwa). Dlatego też coraz częściej analizowane są możliwości adaptacji typowo przemysłowych robotów do pracy z ludźmi [19]. Przykładem mogą tu być procesy produkcyjne realizowane w fabrykach Audi, gdzie coraz częściej roboty pracują „ramię w ramię” z ludźmi (rys. 8). Takie rozwiązanie w znaczący sposób usprawnia realizowane procesy, a także ułatwia pracę ludzi oraz poprawia jej ergonomię na stanowiskach produkcyjnych.

4.3. Autonomiczność robotów

Kolejnym silnie widocznym trendem doskonale wpisującym się w nowoczesne systemy produkcyjne jest zwiększanie autonomiczności robotów przemysłowych. Zazwyczaj dotyczy ona robotów mobilnych, ale coraz częściej obejmuje także zrobotyzowane linie produkcyjne posiadające zdolność samoprzebrajania.

Doskonałym przykładem w pełni autonomicznego robota jest „Ray”, będący kluczowym elementem bezzałogowego systemu transportowego w dziale logistyki firmy Audi (rys. 9). Zadaniem robotów tego typu jest transport gotowych samochodów do tymczasowego miejsca magazynowania oraz szeregowania ich według określonego kryterium. Roboty „Ray” znajdują się obecnie w fazie testów, jednak wstępne wyniki badań wskazują na to, iż zastosowanie tego typu rozwiązań może w znaczący sposób wpłynąć na wydajność procesów produkcyjnych, a także poprawić ergonomię pracy [22].

Przykładów zastosowania autonomicznych robotów mobilnych można mnożyć. Warto chociażby wspomnieć o fabrykach koncernu Volkswagen, gdzie coraz częściej roboty mobilne odpowiedzialne są za transport narzędzi czy podzespołów, a także centrach dystrybucyjnych firmy Amazon, gdzie roboty wspomagają procesy transportu i sortowania towarów.



Rys. 8. Współpraca robota z człowiekiem w fabryce Audi [22]



Rys. 9. Bezzałogowy zrobotyzowany system transportowy w fabryce Audi [23]

Aspekt zastosowania autonomicznych robotów mobilnych wpisuje się także w trend współpracy robotów z człowiekiem, gdyż niejednokrotnie sprawne wykorzystanie tego typu rozwiązań jest związane z koniecznością usunięcia barier bezpieczeństwa i pracy robotów w bliskim kontakcie z ludźmi.

4.4. Wykorzystanie robotów w obróbce mechanicznej

Jeszcze do niedawna wykorzystanie robotów w procesach produkcyjnych ograniczało się do czynności transportowych oraz manipulacyjnych. Idea zastosowania robota dotyczyła bardziej wspomagania procesów, aniżeli ich realizacji. Rozwój technologii oraz technik konstruowania robotów sprawił jednak, iż roboty znajdują także zastosowanie nie tylko jako wsparcie, ale także jako główne narzędzie w realizacji procesów technologicznych.

Współcześnie roboty przemysłowe stosowane są także jako urządzenia realizujące procesy pomocnicze, ale także prowadzące zasadniczą obróbkę mechaniczną. Ostatnimi czasy znacząco wzrosła liczba rozwiązań wykorzystania robotów (wyposażonych w odpowiednie oprzyrządowanie) w procesach obróbczych, w których zastosowanie obrabiarek CNC jest niemożliwe ze względu na zawansowane kształty bądź duże gabaryty obrabianych przedmiotów. Przykładem może tu być wykorzystanie robotów marki KUKA

w produkcji wielogabarytowych rur z tworzyw sztucznych [24]. Robot wyposażony jest w specjalny moduł frezujących wraz z magazynkiem narzędzi, który posiada także specjalne oprogramowanie umożliwiające łatwą konfigurację oraz obsługę narzędzia frezującego. Umieszczenie narzędzia na ramieniu robota pozwala realizować proces produkcyjny w dogodny i elastyczny sposób, przez co tego typu rozwiązania znajdują także zastosowanie w produkcji jednostkowej. Doskonałym przykładem mogą być tu meble o złożonych kształtach, produkowane na specjalne zamówienie. Zastosowanie robota w postaci narzędzia obróbczego niewątpliwie w znaczny sposób zwiększa możliwości oraz elastyczność systemu wytwórczego.

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Ciągle zmieniające się warunki otoczenia przedsiębiorstw przemysłowych nakładają na nie konieczność ciągłego poszukiwania rozwiązań umożliwiających elastyczną i wysokowydajną produkcję przy jednoznacznym zapewnieniu minimalnych kosztów wytwarzania. Z drugiej strony ciągle pojawiają się nowe rozwiązania technologiczne umożliwiającą produkcję zgodną z ww. założeniami. W konsekwencji zmieniają się również paradygmaty projektowania systemów produkcyjnych – coraz częściej opartych na rozwiązaniach o wysokim poziomie automatyzacji procesów podstawowych i pomocniczych.

Zjawiskiem mającym niewątpliwie kluczowy wpływ na rozwój systemów wytwarzania było pojawienie się robotów przemysłowych, które w znaczący sposób zmieniły podejście do zagadnień organizacji i sterowania produkcją w systemach wytwórczych. Co więcej – robotyka stając się jedną z najszybciej rozwijających się branż (zarówno w sensie ekonomicznym, jak również technicznym) – spowodowała pojawienie się wielu nowych koncepcji i rozwiązań, które z jednej strony wykorzystywały dostępne rozwiązania z zakresu robotyki – z drugiej jednak stawiały kolejne wyzwania dla rozwoju robotyki.

Obserwując aktualne trendy na rynku można stwierdzić, iż robotyka będzie w najbliższym czasie jednym z kluczowych czynników mających wpływ na rozwój systemów wytwarzania. Obserwowanie i zilustrowane trendy w rozwoju robotyki w połączeniu z rozwojem maszyn i urządzeń technologicznych a także systemów sterowania elementami systemów wytwórczych pozwalają prognozować, iż kolejne lata mogą spowodować, iż obraz systemów produkcyjnych (i rola człowieka w procesie wytwarzania) ulegną znaczącej zmianie.

Literatura

1. Terkaj W., Tolio T., Valente A.: Designing Manufacturing Flexibility in Dynamic Production Contexts [in:] Tolio T. (ed.): Design of Flexible Production Systems. Springer, 2009, pp. 1-18.
2. Koren Y., Shpitalni M.: Design of reconfigurable manufacturing systems. Journal of Manufacturing Systems, Vol. 29, 2010, pp. 130-141.
3. Gola A.: Procesy produkcji w zautomatyzowanych systemach produkcyjnych (ZSP) [w:] Szatkowski K. (red.): Nowoczesne zarządzanie produkcją. Ujęcie procesowe, PWN, Warszawa 2014.
4. Kulik J., Wojtczak Ł.: Światowe trendy robotyki a wyzwania technologiczne polskich MSP. Pomiar, automatyka i robotyka, nr 4/2015, s. 79-86.
5. Sobaszek Ł., Gola A., Varga J.: Virtual designing of robotic workstations. Applied Mechanics and Materials, Vol. 844, 2016, pp. 31-37.

6. Honczarenko J.: Roboty przemysłowe. Budowa i zastosowanie. WNT, Warszawa 2004.
7. <http://www.astor.com.pl/produkty/zastosowania/robotyzacja/zastosowania.html> [dostęp: 09.01.2017].
8. Skrzypczyński D., Gola A.: Ekonomiczne aspekty doboru robotów przemysłowych dla elastycznych systemów produkcyjnych [w:] Krzysztofek A., Zarządzanie i Marketing, AT Wydawnictwo, Kraków 2014, s. 263-272.
9. Hajduk M., Koukolova L.: Trends in Industrial and Service Robot Application. Applied Mechanics and Materials, Vol. 844, 2015, pp. 31-37.
10. International Federation of Robotics (IFR): World Robotics Report 2016.
11. Dudek M.: Szczupłe systemy wytwarzania. Wyd. Difin, Warszawa 2016.
12. Fertsch M., Pawlak N., Stachowiak A.: Współczesne systemy produkcyjne. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2011.
13. Gola A.: Economic Aspects of Manufacturing Systems Design. Actual Problems of Economics, No. 6 (156) 2014, pp. 205-212.
14. Gola A., Świć A.: Directions of Manufacturing Systems' Evolution from the Flexibility Level Point of View, [w:] R.Knosala (ed.) Innovations in Management and Production Engineering, Oficyna Wyd. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2012, s. 226-238.
15. Kampa A.: Analiza wydajności pracy ręcznej i pracy robota przemysłowego na przykładzie symulacji komputerowej stanowiska pracy hydraulicznej [w:] Janczarek M., Lipski J. (red.): Projektowanie i sterowanie procesami, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2013.
16. Tolio T., Sacco M., Terkaj W., Urgo M.: Virtual Factory: An Integrated Framework for Manufacturing Systems Design and Analysis, Procedia CIRP, Vol. 7, pp. 25-30.
17. Plinta D.: Optimization Methods in Modeling and Simulation of Production Systems. Applied Computer Science, Vol. 5, No. 1, 2009, pp. 5-18.
18. Kumičáková D., Rengevič A.: Automation of Manufacturing Technologies with Utilisation of Industrial Robots, Applied Computer Science, Vol. 11, No. 3, 2015, pp. 5-18.
19. Sobaszek Ł., Gola A.: Perspective and methods of human-industrial robots cooperation, Applied Mechanics and Materials, Vol. 791, 2015, pp. 178-183.
20. Kaczmarek W.: Elementy robotyki przemysłowej, WAT, Warszawa 2008.
21. Semjon J., Baláž V., Vagaš M.: *Project multirobotic systems with KUKA robots in cooperation with VW Slovakia*, in: L. Koukolová, A. Świć (Eds.), Robotics and manufacturing systems, Lublin, 2014, pp. 33-38.
22. <http://autorud.pl/audiblog/w-fabryce-audi-roboty-transportuja-samochody>, [dostęp: 10.01.2016]
23. <http://technowinki.onet.pl/motoryzacja/proces-produkcyjny-audi-wspierany-przez-roboty/6qksv>, [dostęp: 10.01.2016]
24. <http://www.riex.de/automatisierung/roboterfraesanlage>, [dostęp: 10.01.2016].

Mgr inż. Łukasz SOBASZEK
 Dr inż. Arkadiusz GOLA
 Prof. dr hab. inż. Antoni ŚWIĆ
 Instytut Technologicznych Systemów
 Informacyjnych, Politechnika Lubelska

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 36
 tel./fax: (0-81) 538 45 35
 e-mail: l.sobaszek@pollub.pl
 a.gola@pollub.pl
 a.swic@pollub.pl