

# Główne czynniki mające wpływ na rozwój robotyzacji

Wojciech Kaczmarek, Jarosław Panasiuk

Rozwój robotów przemysłowych jest uwarunkowany czynnikami technicznymi, ekonomicznymi i organizacyjnymi.

Wśród czynników technicznych często wyróżnia się:

- rozwój przemysłu 4.0;
- rozwój mechaniki precyzyjnej i układów sterowania;
- rozwój nowych technologii materiałowych oraz zmiany w wydajności energetycznej;
- rozwijający się rynek konsumentów;
- wzrost zapotrzebowania na specjalne operacje produkcyjne wynikające m.in. z dużej masy, złożonych kształtów czy szkodliwych i niebezpiecznych warunków pracy;
- zapewnienie wysokiego i jednolitego standardu wyrobów, wynikającego z rosnącej globalnej konkurencji na rynkach zbytu;
- skrócenie cyklu życia produktów oraz zwiększenie ich gamy, czyli konieczność elastycznej automatyzacji;
- rozwój robotów kolaboracyjnych oraz pełne wykorzystanie ich w produkcji;
- rozwój robotów kompaktowych z prostym programowaniem.

Czynnikami ekonomicznymi są przede wszystkim:

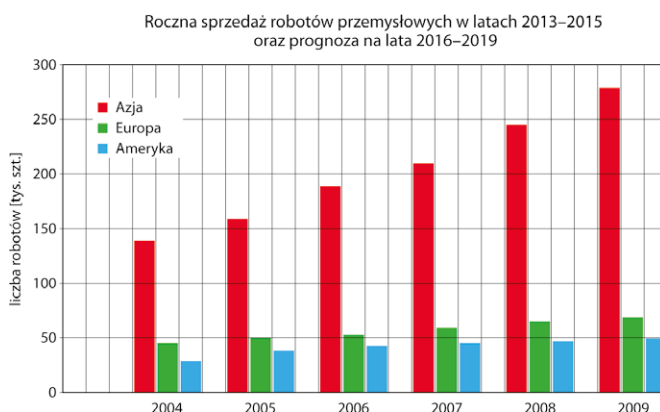
- konstruowanie bardzo drogiej i zaawansowanych technologicznie maszyn specjalistycznych, których cykle obsługi (z uwagi na pełne wykorzystanie) wymagają pełnej automatyzacji – wykorzystanie robotów przemysłowych 24 h/dobę;
- energooszczędność i rosnące koszty pracy ludzkiej;
- krótkie cykle produkcyjne wymagające częstego dostosowywania maszyn (robotów przemysłowych) do nowej produkcji;
- zastępowanie człowieka i maszyn specjalistycznych w monotonicznych (często prostych technologicznie) operacjach, na liniach technologicznych produkcji masowej;
- możliwość łatwego, programowego dostosowania organizacji produkcji danego asortymentu z uwagi na dostępną powierzchnię i elastyczny system transportowy;
- utrzymujące się trendy rozwoju robotyzacji w krajach o wysokim wskaźniku gęstości robotyzacji (m.in. Korea Południowa, Niemcy);
- przyspieszający trend rozwoju robotyzacji w krajach o niskim wskaźniku gęstości robotyzacji (m.in. kraje Europy Środkowej i Wschodniej).

Do czynników organizacyjnych można zaliczyć:

- rozwijające się rynki konsumenckie wymagające rozbudowy mocy produkcyjnych;
- brak na rynku pracowników fizycznych wykonujących proste czynności produkcyjne z uwagi na rosnący poziom wykształcenia społeczeństwa;

- możliwości wykorzystania robotów w małych i średnich przedsiębiorstwach;
- podwyższanie norm bezpieczeństwa pracy.

Zakłada się (ang. *Compound Annual Growth Rate* – CAGR), że na świecie w latach 2016–2019 zostanie zainstalowanych ponad 1,4 mln nowych robotów. Oznacza to, że światowy rynek robotów przemysłowych z ok. 1 631 600 sztuk na koniec 2015 r. zwiększy się do 2 589 000 jednostek do końca 2019 r., co stanowi średnią roczną stopę wzrostu na poziomie 12% w latach 2016–2019 (rys. 1).



Rys. 1. Roczna sprzedaż robotów przemysłowych na poszczególnych kontynentach oraz prognoza sprzedaży na lata 2016–2019

(Źródło: Raport IFR 2016)

## Trendy rozwoju robotów przemysłowych

Wprowadzanie nowych rozwiązań w zakresie robotyzacji wiąże się m.in. z konstruowaniem nowych manipulatorów i modyfikacją istniejących konstrukcji, budową nowych kontrolerów, zwłaszcza pod kątem wymiany ich podzespołów elektronicznych oraz oprogramowania, i proponowaniem nowych rozwiązań programatorów (Teach Pendantów). Z uwagi na nowe podejście do współpracy człowieka z maszyną w ostatnim czasie szczególną uwagę zwraca się na rozwój systemów bezpieczeństwa oraz protokołów transmisji. Producenci robotów zauważyli również, że ze względu na oczekiwania rynku kluczowe staje się dostarczenie kompletnych rozwiązań zrobotyzowanych systemów produkcyjnych (np. stacje paletyzujące, spawalnicze, centra obróbkowe), co przyczynia się do budowy takich systemów oraz rozwoju środowisk do projektowania zrobotyzowanych komór produkcyjnych i programowania robotów w trybie offline.

## Konstrukcje manipulatorów

Bez wątpienia pierwszą rzeczą, jaką można zauważyć, przeglądając oferty sprzedaży, są nowe konstrukcje manipulatorów. Liczący się na rynku światowym producenci robotów przemysłowych poprawiają nie tylko charakterystyki techniczne, ale również wygląd jednostek mechanicznych. Głównymi celami, jakie im przyświecają, są z jednej strony poszukiwanie nowych rozwiązań (np. konstruowanie robotów dwuramiennych), a z drugiej uzupełnienie oferty pokrycia zapotrzebowania całego rynku (np. zwiększenie udźwigu, zasięgu, wydajności, zakresów temperaturowych pracy, energooszczędności). Manipulatory dwuramiennie w obecnym kształcie pojawiły się kilka lat temu – firma YASKAWA zaprezentowała tego typu rozwiązanie m.in. na targach w Monachium w 2012 r. Obecnie w jej ofercie znajdują się 15-osiowe roboty dual arm (rys. 2). W tym kierunku zdają się podążać inni dostawcy, czego przykładem jest wprowadzenie przez firmę ABB robota YuMi (rys. 3) oraz nowa propozycja (od połowy 2013 roku) firmy COMAU – Smart Dual Arm (rys. 4).



Rys. 2. Sterowany kontrolerem DX100 robot SDA10D firmy YASKAWA

(Źródło: YASKAWA)



Rys. 3. Robot kolaboracyjny YuMi firmy ABB

(Źródło: ABB)



Rys. 4. 13-osiowy system z udźwigiem 10 kg na każde ramię – Smart Dual Arm firmy COMAU

(Źródło: COMAU)

Prace rozwojowe dotyczą również poprawienia parametrów technicznych istniejących jednostek. W procesach typu *pick and place* (małe jednostki mechaniczne) zauważalny jest trend uzyskiwania coraz krótszych cykli pracy, większego udźwigu (1–8 kg) i zasięgu (nawet do 1,6 m) oraz powtarzalności na poziomie 0,01 mm. Celowość konstruowania takich robotów widzi większość producentów (np. IRB 1200 firmy ABB, RACER 999 firmy COMAU – rys. 5, MS005N firmy Kawasaki – rys. 6). Producenci pracują również nad zwiększeniem liczby stopni swobody, proponując roboty 7-osiowe, czego przykładem jest robot MSR – MS005N firmy Kawasaki. Zwiększenie liczby osi pozwala m.in. na łatwiejsze osiągnięcie zadanej pozycji, realizację bardziej optymalnych trajektorii ruchu oraz możliwość ograniczenia przestrzeni niezbędnej do realizacji zadań.



Rys. 5. Manipulatory RACER 999 firmy COMAU i IRB 1200 firmy ABB oraz LrMate 200iD firmy FANUC

(Źródło: COMAU, ABB, FANUC)



Rys. 6. Siedmioosiowy manipulator MS005N wykonany ze stali nierdzewnej firmy Kawasaki

(Źródło: ASTOR)

W aplikacjach paletyzacji rozwój następuje głównie w zakresie zwiększenia liczby cykli pracy (obecnie jest to już 2190 cykli/h przy udźwigu 110 kg – np. IRB 460), zwiększenia prędkości (nawet o 15%) i zajmowania mniejszej powierzchni (producenci mówią tutaj o 20-proc. zmniejszeniu powierzchni).

## Generacje kontrolerów

Obecnie dzieli nas przepaść od będących sercem kontrolerów robotów z lat 70. XX wieku, 8-bitowych procesorów i prymitywnego oprogramowania. Przez ostatnie 50 lat kontrolery robotów przemysłowych ewoluowały zarówno w sferze programowej, jak i sprzętowej.

W sferze programowej ujawnia się to głównie w tworzeniu kolejnych generacji systemów operacyjnych (np. IRC 5 – piątej generacji system firmy ABB) oraz udostępniania operatorom języków programowania wysokiego poziomu (m.in. RAPID, KAREL, KRL, obecnie również Java), które dzięki złożonym instrukcjom programistycznym i pakietom dodatkowym umożliwiają dzisiaj programowanie zadaniowe. Ciągłemu rozwojowi podlegają mechanizmy systemów operacyjnych robotów,

w szczególności zwiększając bezpieczeństwo, dokładność, powtarzalność, prędkość, programowalność, synchronizację z osiami zewnętrznymi (np. TrueMove, QuickMove), wielozadaniowość, możliwość sterowania z pełną koordynacją nawet do 36 osi, transfer danych z plików do robota, komunikację z systemami zewnętrznymi i realizację zaawansowanych zadań ruchu. Bardzo dynamicznie rozwijane są prace związane z integracją systemów wizyjnych i kontrolerów robotów (rys. 7).

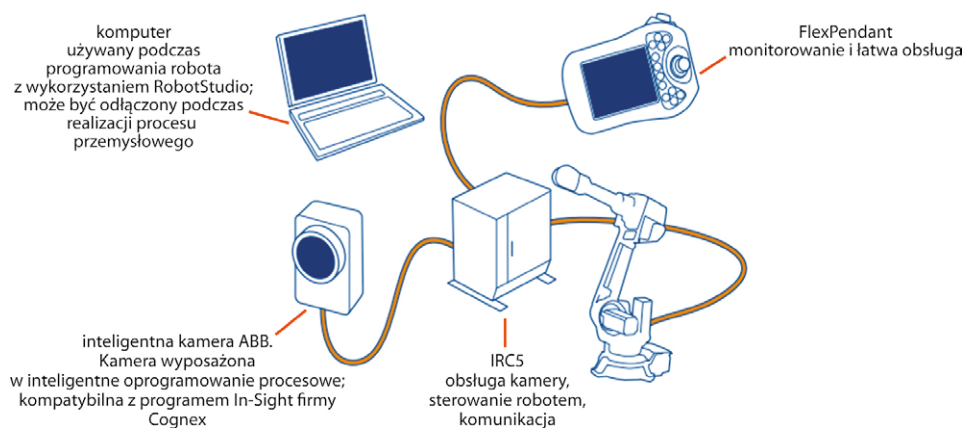
Przykładami są kontrolery robotów FANUC R30iA i R30iB, które wyposażono w system wizyjny – iRVision. Cechą tego systemu jest pełna integracja systemu wizyjnego z kontrolerem robota, co pozwala na łatwiejszą wymianę danych i korzystanie ze wspólnego środowiska programistycznego. System iRVision jest też obecnie najbardziej zaawansowanym, w pełni zintegrowanym systemem wizyjnym z opcją 3D. Sytuacja w zakresie integracji systemów wizyjnych z kontrolerami robotów jest dynamiczna, o czym świadczy pojawienie się zintegrowanych rozwiązań firm ABB czy KUKA. Nowe rozwiązania nie bazują już tylko na wykorzystaniu takich systemów, jak oferowane przez firmę Cognex, ale zakładają pełną integrację również w obszarze środowisk programistycznych, takich jak RobotStudio w przypadku robotów firmy ABB [I.20, I.21, II.3].

Dynamicznie rozwijają się również systemy kontroli siły nacisku i prędkości narzędzia do operacji obróbki maszynowej (gratowanie, szlifowanie, polerowanie), co pomaga w znalezieniu optymalnej ścieżki ruchu, a w połączeniu z oprogramowaniem umożliwia automatyczne programowanie trajektorii ruchu podczas przemieszczania narzędzia, co – jak twierdzą dostawcy – redukuje czas programowania o 80%, skraca czasy cykli o 20% oraz wydłuża żywotność narzędzi o 20%. Systemy kontroli nacisku mają również duże znaczenie w dostosowywaniu robotów do pracy z ludźmi bez konieczności stosowania dodatkowych systemów bezpieczeństwa i ogrodzeń.

W sferze sprzętowej rozwój przejawia się we wdrażaniu nowoczesnych wieloprocessorowych jednostek sterujących, konstruowaniu płyt bazowych z pionierskimi rozwiązaniami modułowymi oraz stosowaniu nowoczesnych rozwiązań w zakresie sterowników PLC (rozwiązania sprzętowe, np. ABB, i programowe KUKA – rys. 8, FANUC) oraz systemów bezpieczeństwa.

Ponadto na rynku pojawiły się kontrolery kompaktowe (rys. 9), które w swojej ofercie ma większość firm. Producenci wskazują przede wszystkim na ich energooszczędność, oszczędność miejsca (możliwość montażu jednostek w szafach sterowniczych) oraz uniwersalność (kontrolery te są rozbudowywane tak, aby spełniały wszystkie funkcje dużych urządzeń).

Nowe podejście do kontrolerów robotów, zaprezentowane w ostatnim czasie przez firmę Mitsubishi w postaci rozproszonej i w pełni skalowalnej platformy iQ pracującej na tej samej



Rys. 7. Koncepcja zintegrowanego systemu wizyjnego

(Źródło: ABB)



Rys. 8. Kontroler firmy KUKA

(Źródło: KUKA)



Rys. 9. Kontrolery kompaktowe firm: od lewej FANUC, ABB, KUKA

(Źródło: FANUC, ABB, KUKA)



Rys. 10. Platforma modułowa iQ firmy Mitsubishi

(Źródło: Mitsubishi)

płycie bazowej, wydaje się lekarstwem na często spotykaną różnorodność sprzętu i systemów sterowania całą linią technologiczną u jednego przedsiębiorcy (rys. 10). Wśród głównych elementów systemu iQ należy wyróżnić jednostki: sterownika PLC, robota, maszyny CNC, systemu sterowania wieloma osiami serwo, procesową, komputera PC oraz systemu programowanego w języku C/C++. W związku z tym, że poszczególne

jednostki mają niezależne procesory, zapewniają wielozadaniową niezależną pracę, przy czym ich montaż na jednej płycie pozwala na szybkie wzajemne komunikowanie się i pełną wymianę informacji. Kolejnym udogodnieniem w omawianym przykładzie jest wykorzystanie jednej platformy programistycznej iQ Works dla wszystkich elementów systemu, co sprawia, że wszystkie procesory mogą pracować na tych samych danych. Spięcie z innymi platformami jest realizowane najczęściej za pomocą sieci Ethernet (CC-link lub TCP/IP). Zaproponowana platforma iQ może pełnić również funkcje systemu bezpieczeństwa, wówczas w jej skład wchodzi moduł sterownika bezpieczeństwa połączony z urządzeniami bezpieczeństwa (np. kurtyną świetlną) za pomocą sieci CC-link Safety.

### Rozwój paneli operatorów – paneli Teach Pendant

W latach 70. ubiegłego wieku programatory robotów przemysłowych były wyposażone w kilka diod i kilkanaście przycisków do programowania. Do dzisiaj przekształciły się w panele dotykowe wyposażone w zaawansowane i intuicyjne systemy okienkowe (rys. 11). Producenci podkreślają, że najnowsze generacje paneli charakteryzują się mniejszymi gabarytami i masą, mają interfejsy USB i są bardziej energooszczędne.

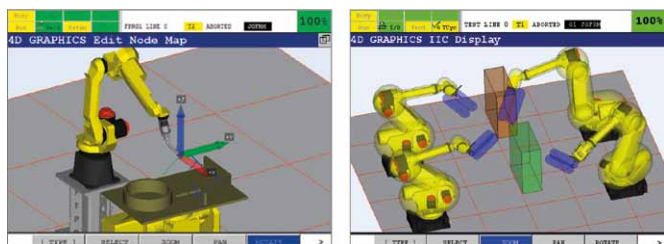
Obok zmian konstrukcji ciągle zmienia się również funkcjonalność programatorów, a instalowane na nich oprogramowanie jest bardziej intuicyjne (często oparte na Windows: KUKA,



Rys. 11. Panele: TP5 firmy COMAU, smartPAD firmy KUKA, FlexPendant firmy ABB

(Źródło: COMAU, KUKA, opracowanie własne)

ABB, FANUC). Implementowanie nowych funkcji, które wcześniej były realizowane przez dodatkowe komputery, integruje programowo środowiska i pozwala na skrócenie czasu szkolenia operatorów oraz tworzenia i testowania programów. Przykładem jest Teach Pendant firmy FANUC, wyposażony w opcję 4D (rys. 12), który umożliwia programowanie i uruchamianie procesów wizyjnych bezpośrednio z panelu, jak również wizualizację stref bezpieczeństwa systemu DCS czy najnowszego rozwiązania firmy FANUC, narzędzia Intelligent Interference Check, pozwalającego na programowanie współpracy robotów i unikanie w sposób dynamiczny kolizji między robotami i między elementami stanowisk. Dzięki dodatkowej funkcjonalności w najnowszej wersji oprogramowania Roboguide istnieje możliwość przeniesienia wizualizacji całego stanowiska



Rys. 12. Okno Teach Pendanta z wizualizacją stanowiska oraz z wizualizacją stref systemu IIC (Źródło: FANUC)



Rys. 13. FlexPendant firmy ABB z aplikacją dla operatora opracowaną w programie ScreenMaker (Źródło: opracowanie własne na podstawie RobotStudio)

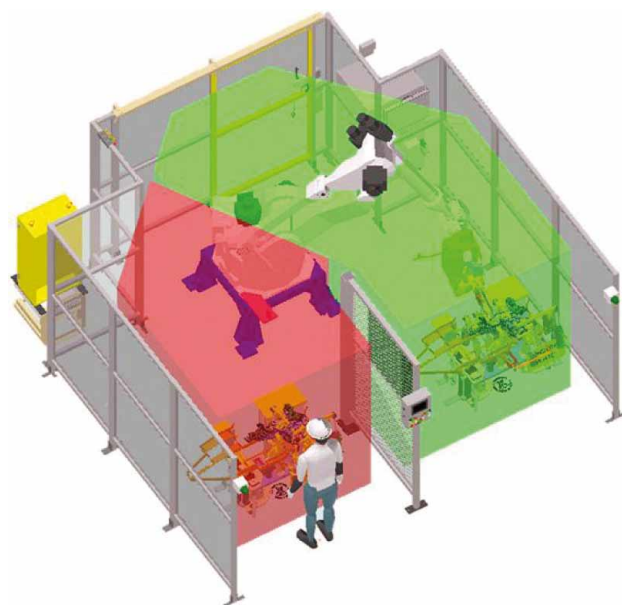
zrobotyzowanego i obserwowania go w oknie panelu Teach Pendant.

Kolejnym przykładem trendów rozwojowych jest możliwość tworzenia aplikacji lub makr (również okienkowych). Aplikacje te mogą wspierać operatorów podczas obsługi robotów przy realizacji zadań lub umożliwiać przeprogramowanie robota (w pewnym określonym zakresie) bez konieczności znajomości specjalistycznego języka programowania (rys. 13). Do niedawna aplikacje takie były tworzone w językach wysokiego poziomu, m.in. C++, C# i Virtual Basic. Dzisiaj firma ABB udostępnia w pełni zintegrowany z RobotStudio program ScreenMaker, co znacznie upraszcza cały proces programowania [II.3].

## Rozwój systemów bezpieczeństwa robotów przemysłowych

Trendy rozwoju robotyzacji wielu specjalistów ocenia w pryzmacie zmian, jakie zachodzą w systemach bezpieczeństwa. Obecnie na wszystkich sympozjach związanych z robotami przemysłowymi są poruszane tematy wdrażania systemów bezpieczeństwa, które zastąpiłyby osłony oraz ogrodzenia i pozwoliłyby na pełną współpracę ludzi z maszynami. Rozwój ten z pewnością ułatwi projektowanie i programowanie zrobotyzowanych komór produkcyjnych oraz zwiększy elastyczność i wydajność produkcyjną. Komitet RIA, odpowiedzialny za standaryzację norm bezpieczeństwa zwłaszcza pod kątem obniżania ryzyka utraty życia i zdrowia oraz ograniczenia odpowiedzialności, aktualizuje standardy dotyczące tych zagadnień.

Głównym celem jest obniżenie kosztów i zwiększenie liczby funkcji bezpieczeństwa wbudowanych w roboty. Na obecnym



Rys. 14. Symulacja systemu bezpieczeństwa Cubic-S firmy Kawasaki

(Źródło: ASTOR)

etapie zmiany te dotyczą zarówno aplikacji z osłonami, jak i kooperacji człowieka z robotem. Te ostatnie to przede wszystkim ograniczenie siły i mocy urządzeń (Technical Specifications 15066).

Producenci robotów przemysłowych również w tej dziedzinie proponują pionierskie rozwiązania (np. SafeMove firmy ABB, Safe Motion firmy COMAU, DCS – Dual Check Safety firmy FANUC, Cubic-S firmy Kawasaki – rys. 14). Jednym z nich jest możliwość dokładnego określenia stref pracy narzędzia w przestrzeni roboczej. Oprócz stosowania ograniczników mechanicznych systemy robotów już teraz zawierają rozbudowane oprogramowanie, zapewniające bezpieczeństwo i przewidujące ruchy robota. Wykorzystanie geometrycznych i prędkościowych ograniczeń z zapewnieniem automatycznej pracy pozwala na zwiększenie elastyczności interakcji człowieka z maszyną oraz zdolność bieżącej obsługi robotów.

Jednocześnie systemy tego typu redukują liczbę urządzeń bezpieczeństwa (kurtyn świetlnych, mechanicznych wyłączników, przekaźników bezpieczeństwa itp.).

Trend rozwoju tego typu systemów łatwo zauważyć na przykładzie systemu DCS, w którym, zgodnie z normą EN ISO 13849, ocena ryzyka jest na poziomie klasy 4 (co oznacza najwyższą, porównywalną z klasyfikacją dotyczącą załadunku prasy ręcznej).

Przykłady możliwości bezpośredniej współpracy człowieka z robotem były przedstawiane szeroko na Targach Automatica w 2014 r. Firma KUKA zaprezentowała szereg aplikacji (m.in.: adaptacyjny montaż, asystenta medycznego oraz asystenta w kuchni i telewizji), w których szczególną rolę odgrywały właściwości czuciowe robota z systemem LBR iiwa (ang. *Intelligent Industrial Work Assistant*) i które mogły funkcjonować w dowolnej konfiguracji w zależności od wymagań aplikacji. Przygotowane prezentacje funkcjonowały bez fizycznych układów bezpieczeństwa (np. barier, ogrodzeń) i umożliwiały realizację sterowania za pomocą prostych gestów.



**Rys. 15.** Robot firmy KUKA z kamerą w studiu telewizyjnym (Źródło: KUKA)

Jedną z aplikacji było wykorzystanie robota jako nosiciela kamery z teleprompterem. Rozwiązanie takie pozwoliło na płynną (bez drgań) i cichą zmianę położenia kamery oraz pełną współpracę robota (mającego we wszystkich osiach czujniki momentowe) z personelem studia (rys. 15).

Kolejnym przykładem bezpośredniej współpracy człowieka z robotem jest asystent montażu. Wiele zadań realizowanych na zautomatyzowanych liniach produkcyjnych wymaga wysokiej precyzji. Przykładem jest pozycjonowanie i klejenie szklanych paneli wyświetlaczy (rys. 16). Robot w tym przypadku (bez użycia dodatkowych czujników zewnętrznych) wykrywa krawędzie ramki, określa optymalne położenie montowanego panelu i precyzyjnie go montuje. Dzięki zastosowaniu nowoczesnej



**Rys. 16.** Robot firmy KUKA precyzyjnie układający szklane panele

(Źródło: KUKA)

technologii człowiek może wykonywać część operacji (np. układać ramki na stole montażowym z nieuporządkowanego magazynu).

Bibliografia dostępna pod linkiem: [www.nis.com.pl/bibliografia.html](http://www.nis.com.pl/bibliografia.html)

Fragment pochodzi z książki: W. Kaczmarek, J. Panasiuk, *Robotyzacja procesów produkcyjnych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2017