

KOMPUTEROWY SYSTEM WSPOMAGAJĄCY ZARZĄDZANIE OPERACJAMI PRODUKCYJNYMI

Krzysztof ŻYWICKI

Streszczenie: W artykule przedstawiono budowę komputerowego systemu wspomagającego zarządzanie operacjami produkcyjnymi. System zawiera modułów funkcjonalnych (np. technologia, planowanie i sterowanie produkcją, zasoby), które umożliwiają dla produkcji jednostkowej i małoseryjnej elastyczne reagowanie na zmienne warunki produkcyjne wynikające z uwarunkowań zewnętrznych (np. zmienne zamówienia klientów) i wewnętrznych (np. ograniczenia i dostępność zasobów).

Słowa kluczowe: komputerowe wspomaganie, zarządzanie produkcją.

1. Wprowadzenie

Działania podejmowane w obszarze produkcji powinny cechować się elastycznością, która jest wymuszana przez konieczność dostosowywania się do zmiennych wymagań klientów. Dostarczanie wyrobów w terminie uzgodnionym z klientem, zgodnych pod względem wymagań jakościowych oraz w akceptowalnej cenie jest dziś standardem. Z tego względu realizacja produkcji powinna zagwarantować osiągnięcie założonych parametrów. Obszarami zarządzania produkcją, które odpowiadają za taki stan rzeczy jest między innymi planowanie (łącznie z harmonogramowaniem) i sterowanie produkcją. Plan i harmonogram produkcji powinny wskazać czy możliwe jest zrealizowanie zamówień przy akceptowalnych poziomach opłacalności dla firmy. Wynik ten w dużym stopniu jest uzależniony od uwarunkowań wewnętrznych systemu wytwórczego (jego ograniczeń). Cechą charakterystyczną systemu wytwórczego jest zmienność wewnętrznych warunków produkcyjnych, która jest wynikiem pojawiania się różnego rodzaju nieprzewidzianych sytuacji, np. awaria maszyny, konieczne regulacje urządzeń, zużycie narzędzia, braki materiału, wyroby wadliwe. Dlatego bardzo ważnym aspektem jest dokonywanie pomiaru parametrów związanych z realizacją produkcji oraz ewentualna korekta planów, w celu dostosowania ich do bieżącej sytuacji produkcyjnej. Za ten obszar odpowiada sterowanie produkcją.

Sterowanie produkcją opiera się na wykorzystaniu danych powstających podczas szeroko rozumianej kontroli przebiegu produkcji oraz jakości i polega na aktywnym i dynamicznym sterowaniu przebiegiem procesów wytwarzania. Do niedawna podejście do problematyki sterowania produkcją polegało na kontroli i podejmowaniu działań sterujących po zakończeniu kolejnych etapów produkcji (np. kontrola techniczna przeprowadzona po zakończeniu operacji). Współcześnie sterowanie produkcją przeprowadzane jest w sposób ciągły, już w czasie realizacji procesu wytwórczego. Ma ono charakter doraźnych działań, interwencji i ma na celu operacyjne zarządzanie realizacją operacji produkcyjnych.

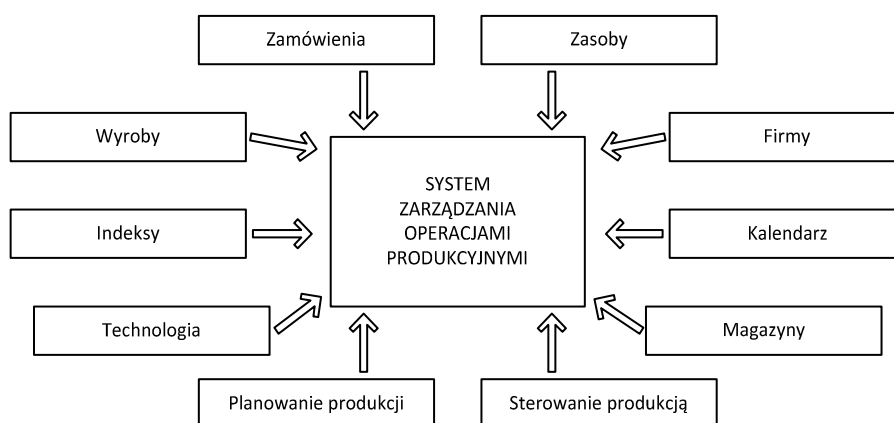
Prawidłowe zaplanowanie i sterowanie przebiegiem produkcji stanowi kluczowy warunek terminowego przekazania klientowi wyrobu o wymaganej jakości. Szczególnie istotne jest to w przypadku produkcji jednostkowej i małoseryjnej, gdzie każde zamówienie

klienta jest rozpatrywane indywidualnie pod względem konstrukcyjnym i technologicznym. Jednocześnie rośnie stopień złożoności zagadnienia planowanie i harmonogramowania produkcji[1-4].

W artykule przedstawiono budowę systemu zarządzania operacjami produkcyjnymi (SZOP). W systemie zawarto metody projektowania procesów technologicznych, planowania i sterowania produkcją oraz jakością dedykowane produkcji jednostkowej i małoseryjnej.

2. Struktura i modele danych systemu

System zarządzania operacjami produkcyjnymi zbudowany jest z szeregu modułów, które umożliwiają tworzenie i obsługiwane baz danych oraz zawierają konieczne algorytmy. Należą do nich: grupa modułów dane podstawowe (firmy, zamówienia, wyroby, indeksy, zasoby, kalendarz) oraz technologia, planowanie produkcji, sterowanie produkcją, magazyny (rys. 1).



Rys. 1. Struktura systemu zarządzania operacjami produkcyjnymi

2.1. Dane podstawowe

Dane podstawowe to grupa modułów systemu zawierających informacje pochodzące bezpośrednio od klientów oraz związane z wewnętrznymi warunkami systemu wytwórczego.

Dane związane z zamówieniami dotyczą: zamawianego wyrobu (pozycja zamówienia), liczby sztuk, wymaganych terminów dostawy oraz klienta. Zamówienie może przyjmować określony status: wprowadzone, przyjęte do realizacji, w realizacji, zakończone, wstrzymane.

Moduł wyroby zawiera informacje o indeksach tworzących określoną strukturę (elementy składowe wyrobu gotowego: podzespoły, części, materiały) oraz o ich powiązaniach strukturalnych i ilościowych. W module tym możliwe jest określenie czy dana część czy materiał stanowi pozycję zakupową lub czy jest wytwarzana we własnym zakresie.

Moduł zasoby zawiera podstawowe (dostępność, lokalizacja) informacje o:

- maszynach i urządzeniach produkcyjnych (typ, rodzaj) stanowiących konkretne stanowisko produkcyjne, gniazdo czy linię produkcyjną,

- pracownikach, ich kompetencje zawodowe, przynależność do stanowiska pracy,
- oprzyrządowaniu,
- narzędziach.

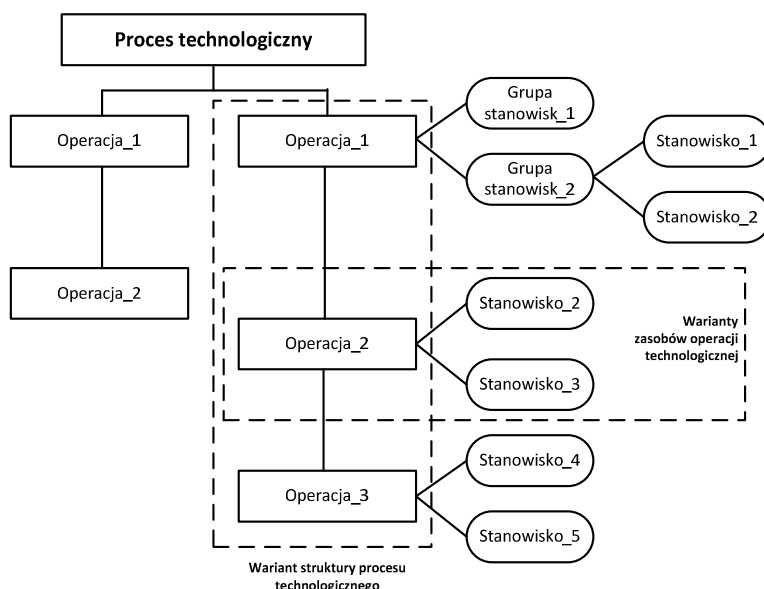
Moduł indeksy obejmuje informacje o komponentach (elementach) będących składnikami wyrobów gotowych oraz materiałów: indeks, jednostka miary, wymiary.

Firmy to moduł zawierający podstawowe informacje o partnerach biznesowych: klientach, dostawcach oraz kooperantach.

Kalendarz określa system pracy w danym systemie wytwórczym (liczba zmian produkcyjnych, liczba godzin pracy, przerwy produkcyjne) oraz dostępność zasobów (maszyn na stanowiskach produkcyjnych) uwzględniając czasowe przerwy i wyłączenia ich z eksploatacji.

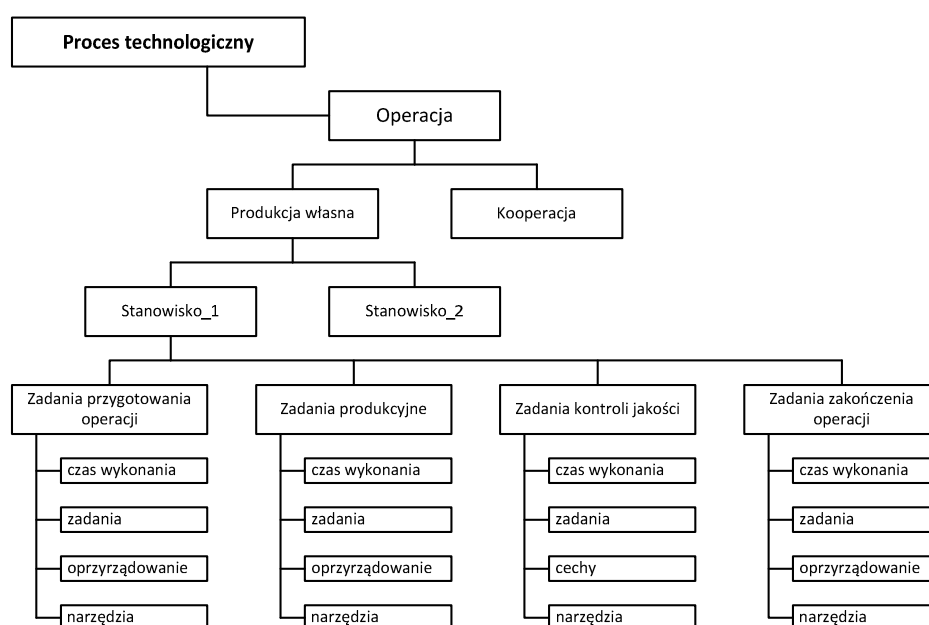
2.2. Moduł technologia - projektowanie procesów technologicznych

W systemie założono możliwość opracowania wariantów procesu technologicznego wykonania danego wyrobu, stwarzając tym samym warunki do racjonalnych decyzji w zakresie harmonogramowania produkcji i sterowania przebiegiem procesów wytwarzania. Danymi wejściowymi do opracowania wariantów procesu technologicznego są informacje konstrukcyjne związane z wyrobem określonym w zamówieniu. Przewidziano wariantowanie w dwóch obszarach (rys. 2): struktury procesu technologicznego oraz zasobów związanych z realizacją operacji technologicznych. Warianty struktury procesu technologicznego wyrażają alternatywne przebiegi związane z marszrutą operacji technologicznych. Pozwala to na dowolne definiowanie operacji z uwzględnieniem możliwości technicznych oraz koncentracji zadań produkcyjnych. Warianty zasobów określają potencjalne zasoby produkcyjne, na których możliwe jest zrealizowanie danej operacji technologicznej. Przy czym możliwe jest zaplanowanie wykonania danej operacji dla grupy zasobów (stanowisk) lub dla konkretnego zasobu.



Rys. 2. Obszary wariantowania procesu technologicznego

Projektowanie procesu technologicznego danego wyrobu polega na określeniu struktury procesu technologicznego (bądź jej wariantów). W ramach danej struktury planowane są operacje technologiczne, które mogą być także realizowane poprzez kooperację. Dla operacji wykonywanych we własnym zakresie należy po wybraniu zasobu produkcyjnego (gniazda, stanowiska) zdefiniować zadania, które stanowią trzy grupy. Zadania przygotowania operacji, zadania produkcyjne oraz zadania zakończenia operacji. Dla każdej grupy zadań definiowane są czas wykonania, oprzyrządowanie, oraz narzędzia. Dodatkowo dla zadań produkcyjnych istnieje możliwość określenia planu kontroli jakości poprzez zdefiniowanie parametrów wyrobu lub procesu (parametry krytyczne), które będą stanowiły punkt odniesienia kontroli w danej operacji technologicznej (rys. 3).



Rys. 3. Struktura operacji technologicznej

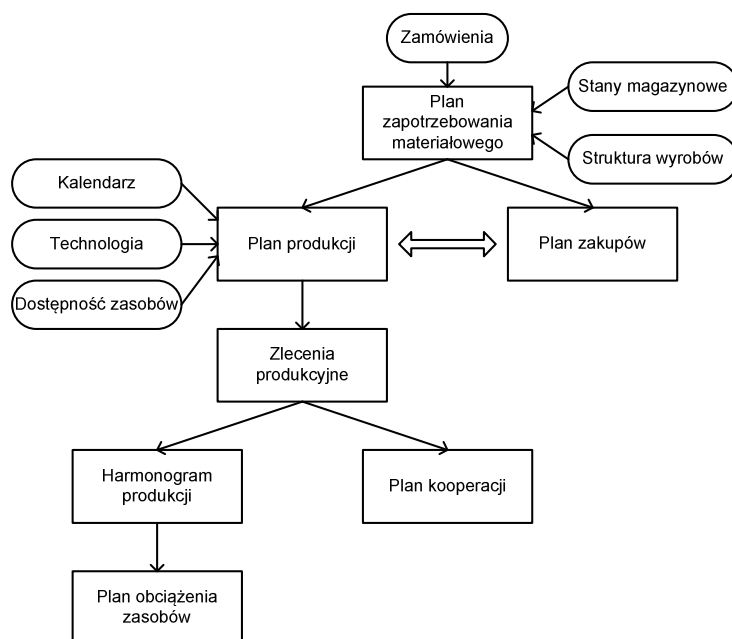
Baza danych technologii zawiera także informacje dotyczące zrealizowanych procesów w postaci wskaźników (np.: liczba braków, wydłużenie czasu trwania operacji). Informacje te można wykorzystać podczas projektowania procesu dla nowego wyrobu.

2.3. Moduł planowania produkcji

Planowanie produkcji rozpoczyna się od określenia zapotrzebowania materiałowego (planowanie potrzeb materiałowych) do produkcji wyrobów na podstawie zamówień o statusie przyjęte do realizacji. Na podstawie tego zbioru zamówień jest tworzona wykaz wszystkich komponentów i materiałów i ich ilości jakie należy wytworzyć (plan produkcji własnej), zakupić (plan zakupów) oraz pozyskanych w drodze kooperacji (plan kooperacji) aby je zrealizować(rys. 4).

Plan produkcji (produkcji własnej) stanowi podstawę opracowania zleceń produkcyjnych, które są podstawowym elementem modułu planowania produkcji. Na podstawie tego planu są określane wymagane terminy dostaw materiałów zakupowych i kooperacyjnych.

Zlecenia produkcyjne na wyroby finalne są tworzone na podstawie zamówień (pozycji zamówień). Dane zlecenie produkcyjne może składać się z pozycji od wielu zamówień (łączenie zamówień dla tego samego wyrobu) i charakteryzuje się liczbą sztuk wyrobu oraz wymaganą datą realizacji (jeżeli istnieje taki wymóg określony w zamówieniach). Opracowane zlecenie produkcyjne dla wyrobu finalnego powoduje automatyczne generowanie zleceń dla poszczególnych komponentów składowych.



Rys. 4. Struktura planowania produkcji

Planowanie procesów wytwarzania dotyczy wszystkich zleceń produkcyjnych i pozwala na określenie czy realizacja zleceń ma być rozpatrywana z uwzględnieniem wariantów procesów technologicznych (warianty struktury, zasobów) oraz czy i jakie procesy/operacje będą realizowane poprzez kooperację (pod warunkiem uwzględnienia tego w module technologia). W tym celu można wykorzystać dane o już zrealizowanych zleceniach produkcyjnych dotyczące poziomu braków, terminowości realizacji zleceń, terminowości dostaw, itp.

Planowaniu produkcji podlegają wszystkie zlecenia produkcyjne na pozycje realizowane we własnym zakresie i obejmuje ono opracowanie kolejki zleceń i harmonogramu produkcji. W tym celu w systemie wykorzystywane są reguły priorytetów. Priorytety dotyczą: klienta, terminu dostawy, priorytet specjalny oraz parametrów zleceń produkcyjnych. Reguły oparte na tych parametrach to: najpierw najkrótsze zadania, najpierw najdłuższe zadania, pierwsze przyszło pierwsze zrobione. Opracowując plan produkcji możliwe jest wybranie reguł priorytetów które mają zostać wykorzystane w tym celu.

Wyznaczona kolejka zleceń określa w jakiej kolejności mają być planowane w harmonogramie produkcyjnym. W harmonogramie tym planuje się obciążenie zasobów z uwzględnieniem i bieżącej dostępności wynikającej z realizowanej już produkcji oraz

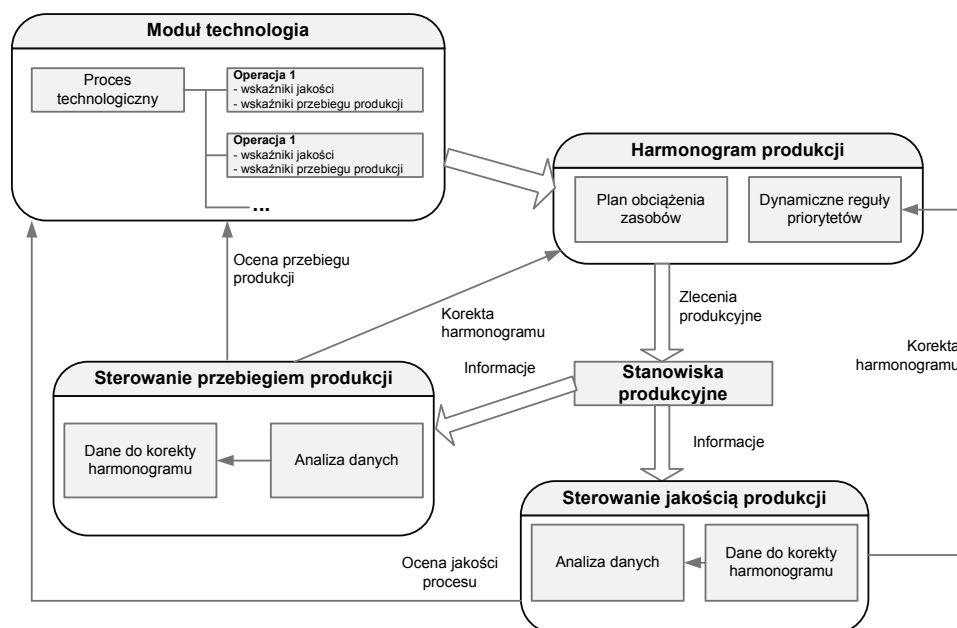
dostępności wynikającej z systemu pracy i planowanych wyłączeń z eksploatacji (np. przeglądy konserwacyjne). Uwzględniając powyższe czynniki oraz plan procesów wytwarzania możliwe jest opracowanie wielu wariantów harmonogramu produkcyjnego. Należy podkreślić, że ten etap harmonogramowania jest symulowany, a więc przeprowadzane czynności nie mają wpływu na bieżącą produkcję w toku. Tylko zaakceptowanie planowanego harmonogramu do realizacji skutkuje rezerwacją zasobów i materiałów do produkcji.

Plan materiałów zakupowych obejmuje pozycje materiałowe podlegające pozyskaniu poprzez zakup zewnętrzny. Jest on opracowywany na podstawie planu produkcji i określa wymagane ilości i terminy dostaw materiałów koniecznych do realizacji produkcji. W planie uwzględniane są także aktualne stany magazynowe oraz rezerwy materiałów.

Plan zdolności produkcyjnych jest obrazem obciążenia zasobów będącego wynikiem przyjętego harmonogramu produkcji i jest powiązany z modułem kalendarz. Na podstawie tego planu możliwe jest regulowanie zdolności produkcyjnych np. poprzez wydłużanie zmian produkcyjnych, pracę w nadgodzinach.

2.4. Moduł sterowania produkcją

Sterowanie produkcją obejmuje następujące obszary decyzyjne w zakresie przebiegu produkcji oraz analizy jakości wyrobów i procesów. Podstawą działań jest harmonogram produkcji oraz ewidencja zdarzeń mających miejsce podczas realizacji produkcji. Na tej podstawie zostaje przeprowadzona analiza parametrów planowanych z uzyskanymi i na tej podstawie dokonywane jest ewentualna korekta założeń produkcyjnych (rys. 5).



Rys. 5. Model sterowania produkcją

Pozyskanie informacji produkcyjnych przewidziano poprzez wykorzystanie dokumentacji produkcyjnej wypełnianej przez pracowników na produkcji i wprowadzanej

do systemu komputerowego lub wykorzystując urządzenia do automatycznej identyfikacji danych: skanery kodów kreskowych, terminale przenośne, dotykowe panele produkcyjne.

Zrealizowane zlecenia produkcyjne według danego procesu technologicznego podlegają ocenie i charakteryzują się określonymi wskaźnikami przebiegu produkcji oraz jakości procesu. Informacje te stanowią dane, które mogą być brane pod uwagę podczas projektowania procesów technologicznych oraz planowania procesów wytwarzania.

2.4.1. Sterowanie przebiegiem produkcji

Sterowanie przebiegiem produkcji obejmuje: emisję dokumentacji produkcyjnej (zleceń produkcyjnych, przewodników produkcyjnych), zbieranie danych z realizacji produkcji, analiza danych produkcyjnych, korekta harmonogramu produkcji.

Pozyskane dane produkcyjne (stanowisko produkcyjne, wyrób, zlecenie produkcyjne, rozpoczęcie operacji technologicznej, wytworzona liczba sztuk wyrobów, zakończenie operacji technologicznej, przestoje na stanowisku) podlegają analizie w wyniku porównania ich z danymi ujętymi w planie i harmonogramie produkcyjnym. W przypadku stwierdzenia odchylenia w harmonogramie produkcyjnym wynikającymi z opóźnień w realizacji operacji technologicznych, przestoje w pracy maszyn i urządzeń analizowane są ewentualne konsekwencje tych zdarzeń dla terminowości zrealizowania zleceń produkcyjnych.

Możliwe jest przebudowanie harmonogramu poprzez przesunięcie, wstrzymanie zadań produkcyjnych poprzez zastosowanie metod:

- minimalny dynamiczny zapas czasu zadania: z kolejki operacji oczekujących na wykonanie wybierana jest operacja, dla której minimalna jest różnica między terminem dostawy a datą bieżącą, pomniejszona o sumę czasów pozostałych jeszcze do wykonania operacji należących do tego samego zlecenia produkcyjnego - różnica ta nazywana jest dynamicznym zapasem czasu zadania; metoda pozwala na minimalizację opóźnień zleceń produkcyjnych.
- minimalny czas operacji z uwzględnieniem priorytetu dla zadań opóźnionych: jeżeli żadne zadanie nie jest opóźnione (nie ma zadań o ujemnym zapasie dynamicznym czasu zadania) to priorytet przyznawany jest według najkrótszego czasu operacji, jeżeli występują zadania opóźnione czyli o ujemnym zapasie dynamicznym czasu zadania, to priorytet przyznawany jest według reguły minimalny dynamiczny zapas czasu zadania, czyli operacji należącej do zadania o minimalnym zapasie dynamicznym czasu.

Analiza przebiegu produkcji może być prowadzona poprzez szereg wskaźników, np.: odchylenie terminów realizacji zleceń, operacji; czas oczekiwania zadań produkcyjnych w kolejce, długość cyklu wytwarzania, wykorzystanie zdolności produkcyjne.

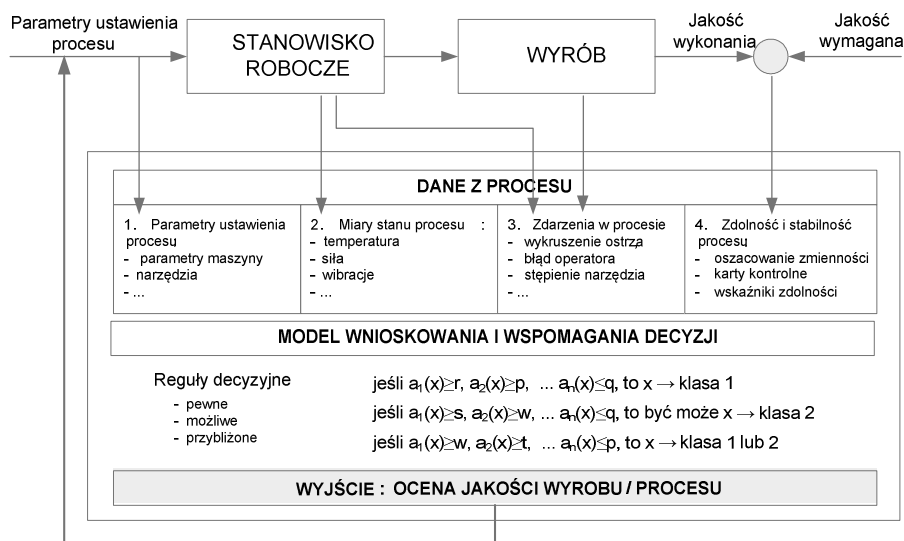
2.4.2. Analiza jakości wyrobów i procesów

W systemie ocena jakości wyrobów, półwyrobów (produkcja w toku) uzyskiwanych na danym stanowisku produkcyjnym w trakcie wykonywania operacji technologicznej lub po jej zakończeniu oraz ocena zdolności jakościowej procesu (danego stanowiska produkcyjnego) została ujęta w module sterowanie produkcją – analiza jakości.

System zawiera algorytmy pozwalające wyznaczyć tradycyjne statystyczne wskaźniki zdolności jakościowej procesu (np. c_p , c_{pk}) oraz metodę oceny jakości procesu wytwarzania

uwzględniającą wiele cech jakościowych wyrobu (nie tylko krytyczną) i wiele charakterystyk procesu. Koncepcję metody oceny jakości procesu przedstawiono na rys. 6.

Z zebranych danych o zadaniu produkcyjnym, tj. zarejestrowanych na stanowisku produkcyjnym miar stanu procesu, zdarzeń, które wystąpiły podczas jego trwania (np. wykruszenie się ostrza, błąd w obsłudze) oraz charakterystyk jakościowych wyrobów (np. chropowatość powierzchni, wytrzymałość) indukowane będą trzy rodzaje reguł decyzyjnych: reguły pewne (jeśli ..., to ...), możliwe (jeśli ..., to być może ...) i przybliżone (jeśli ..., to ... lub ...). Pozwolą one na szacowanie jakości wyrobów wytwarzanych w procesie opisanym pewnym zbiorem charakterystyk, a dzięki temu na ocenę jakości (stabilności) procesu. Uzyskiwana w ten sposób ocena procesu określona została mianem wskaźnika bezpieczeństwa procesu.



Rys. 6. Wykorzystanie narzędzi tradycyjnych w ocenie jakości procesu

Ocena jakości wyrobu/procesu pozwala na stworzenie oceny bezpieczeństwa procesu jaką można uzyskać stosując odpowiedni wariant produkcji. Jest ona jednym z kryteriów branych pod uwagę przy reharmonogramowaniu produkcji.

2.5. Moduł magazynu

Moduł magazynu odpowiedzialny za zarządzanie wszystkimi pozycjami materiałowymi zdefiniowanymi w systemie i koniecznymi do realizacji produkcji. Przewidziano możliwość tworzenia dowolnej ilości wydzielonych fizycznie w bazie danych magazynów, np. surowców, robót w toku, wyrobów gotowych, ale także środków produkcji: narzędzi, oprzyrządowania. Ujęte w magazynie pozycje podlegają kontroli stanów ilościowych, rezerwacji, wydań, przyjęć. Rozchód materiałów może odbywać według zasady: FIFO (first in first out), LIFO (last in first out) lub poprzez bezpośrednie wskazanie danych pozycji materiałowych.

3. Podsumowanie

Zaproponowany system zarządzania operacjami produkcyjnymi głównie ze względu na przyjęte rozwiązania w zakresie metody planowania produkcji może być wykorzystywany w systemach wytwórczych realizujących produkcję jednostkową i małoseryjną. Zaproponowane rozwiązanie łączy trzy podstawowe aspekty związane z realizacją procesów wytwarzania: opracowywanie procesów technologicznych, harmonogramowanie produkcji, sterowania przebiegiem i jakością produkcji. W zakresie projektowania procesów technologicznych przewidziano możliwość wariantowania w dwóch obszarach: struktury procesu oraz wykorzystywanych stanowiskach produkcyjnych. Planowanie produkcji odbywa się z wykorzystaniem reguł priorytetów, które określają kolejność realizowanych zleceń produkcyjnych na podstawie przyjętych kryteriów. W sterowaniu produkcją zawarto możliwość nadzorowania przebiegu produkcji pod względem realizowanych operacji produkcyjnych oraz jakości wytwarzanych wyrobów i przebiegu procesów wytwarzania.

Literatura

1. Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją. Placet, Warszawa 2002.
2. Chlebus E.: Komputerowe techniki CAx w inżynierii produkcji. WNT Warszawa 2000.
3. Pająk E.: Zarządzanie produkcją: produkt, technologia, organizacja. PWN Warszawa 2007.
4. Senger Z.: Sterowanie przepływem produkcji. Wydaw. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1998.

Dr inż. Krzysztof ŻYWICKI
Instytut Technologii Mechanicznej,
Zakład Zarządzania Produkcją
Politechnika Poznańska
60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3
tel.: (0-61) 665 27 38
e-mail: krzysztof.zywicki@put.poznan.pl