

Maria PIŁACIŃSKA, Konrad LEŚNIAK, Agnieszka KUJAWIŃSKA, Krzysztof ŻYWICKI
Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej

MODEL DANYCH SYSTEMU STEROWANIA PRZEPLYWEM I JAKOŚCIĄ PRODUKCJI¹

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję systemu sterowania przepływem i jakością produkcji oraz odpowiadający mu model danych. W systemie wyróżniono moduły wariantowania procesów technologicznych, harmonogramowania produkcji oraz sterowania jakością. Opracowywane rozwiązanie dedykowane jest przedsiębiorstwom realizującym produkcję na zamówienie, które winny elastycznie reagować na zmiany warunków produkcji i portfela zamówień.

Słowa kluczowe: model danych, sterowanie przepływem produkcji, sterowanie jakością

THE DATA MODEL OF PRODUCTION FLOW AND QUALITY CONTROL SYSTEM

Summary. In the paper the idea of the system of production flow and quality control and its data model is presented. There are distinguished the functional moduls of preparing technological processes' variants, of production scheduling, and of quality control. The solution is dedicated to the enterprises characterized by a make-to-order production approach, which have to react flexibly to changing production conditions and the backlog of orders.

Keywords: data model, production flow control, quality control

1. Wprowadzenie

Cechą charakterystyczną wielu przedsiębiorstw realizujących produkcję na zamówienie jest duża zmienność asortymentowo-ilościowa programu produkcji. O ich konkurencyjności

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy.

decyduje łatwość przystosowania się do zmiennych i zróżnicowanych wymagań klientów (np. kosztów, czasu wykonania, jakości wyrobów), którymi nierzadko są producenci wyrobów finalnych. Przedsiębiorstwa te muszą być elastyczne i z tego względu szybko reagować na zmiany zachodzące w swoim otoczeniu i bezpośrednio na rynku. W praktyce, przedsiębiorstwa o dużej zmienności asortymentowo-ilościowej programu produkcji to najczęściej przedsiębiorstwa małe i średnie. Efektywność ich działania, a tym samym konkurencyjność zależy nie tylko od zasobów firmy, ale także, a może przede wszystkim od stopnia ich wykorzystania. Efektywne wykorzystywanie zasobów wiąże się nierozłącznie z zadaniem sterowania przepływem produkcji. Przedsiębiorstwa małe i średnie nie są w stanie wykorzystać do tego celu dostępnych na rynku systemów informatycznych, przede wszystkim ze względu na ich znaczne koszty.

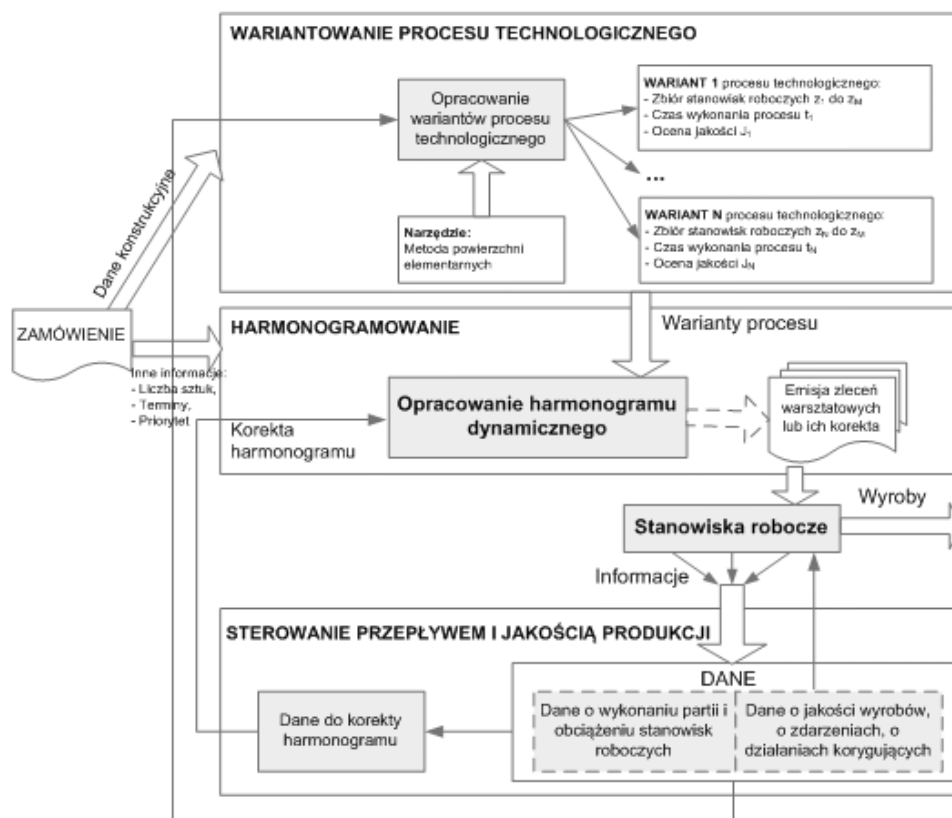
Sterowanie produkcją w przedsiębiorstwach o niskiej stabilizacji produkcji wiąże się z koniecznością opracowywania elastycznego planu sprzedaży (planu zleceń produkcyjnych), umożliwiającego szybką reakcję na zmiany w zamówieniach klientów oraz na składanie przez nich nowych zamówień nieprzewidzianych w dotychczasowym planie produkcji. Do tak „dynamicznego” planu sprzedaży należy dostosować równie dynamiczny harmonogram produkcyjny. Jest on podstawą inicjowania procesów zaopatrzenia, przyporządkowania operacji technologicznych do stanowisk roboczych (efektywnego zarządzania zasobami firmy), a także określania terminów realizacji poszczególnych zadań.

W artykule przedstawiono koncepcję i model danych systemu sterowania przepływem i jakością produkcji (SSPiJP) przeznaczonego dla przedsiębiorstw o dużej zmienności asortymentowo-ilościowej planu produkcji, uwzględniającego możliwość elastycznego reagowania na zmiany warunków produkcji i portfela zamówień (w tym zmian w realizowanych już zleceniach produkcyjnych). Zmienność portfela zamówień jest przede wszystkim efektem coraz szerszego zastosowania w przedsiębiorstwach „efektu ssania”, co jest korzystne z punktu widzenia producenta wyrobu finalnego (produkuje on taką ilość wyrobów, na którą jest zapotrzebowanie). Jednocześnie wspomniana zmienność powoduje duże utrudnienia w przedsiębiorstwach kooperujących z producentem wyrobów finalnych, gdyż muszą się one wykazywać dużą elastycznością w dostosowywaniu się do tych zmian.

2. Koncepcja systemu sterowania przepływem i jakością produkcji

Ogólny schemat działania systemu SSPiJP przedstawiono na rys. 1. W systemie wyróżniono następujące moduły funkcjonalne: wariantowania procesów technologicznych, harmonogramowania produkcji oraz sterowania jakością.

W systemie rejestruje się nowe, przyjęte do realizacji zamówienia na wyroby. Określają one terminy i ilości zamawianych wyrobów oraz mogą zawierać ich dokumentację konstrukcyjną. Każdemu zamówieniu przypisywany jest priorytet (kategoria ważności), który może uwzględniać historię dotychczasowej współpracy z zamawiającym (np. stały klient, płatności dokonywane w terminie) bądź też przewidywany efekt związany z realizacją zamówienia (np. duży zysk).



Rys. 1. Schemat działania systemu sterowania przepływem i jakością produkcji
Fig. 1. Functioning scheme of production flow and quality control system

Dane konstrukcyjne zamawianego wyrobu posłużą do opracowania wariantów procesu technologicznego. Wyrażają one alternatywne sposoby realizacji procesu technologicznego w danym przedsiębiorstwie, z uwzględnieniem konstrukcyjno-technologicznych i jakościowych możliwości wykonania wyrobu. Na podstawie wariantów procesu technologicznego zostanie opracowany dynamiczny harmonogram produkcji, optymalny ze względu na wykorzystanie zasobów przedsiębiorstwa i/lub koszty wykonania zlecenia. Następnie, zgodnie z otrzymanym harmonogramem, rozdzielane będą zlecenia warsztatowe (produkcyjne) na poszczególne zasoby produkcyjne. W trakcie realizacji zleceń produkcyjnych na stanowiskach roboczych będą zbierane i rejestrowane w systemie następujące dane:

- status stanowiska roboczego (np. zajęte/wolne, zgodne/niezgodne z harmonogramem),
- status produkcji w toku (np. wykonywany na stanowisku wyrób, partia produkcyjna, operacja technologiczna),
- uzyskiwane w danej operacji cechy jakościowe wyrobu (np. wymiar, chropowatość powierzchni),
- bieżące miary stanu procesu – nastawienia maszyny, zjawiska towarzyszące (np. szybkość skrawania, wykorzystywane narzędzie, temperatura otoczenia, wibracje),
- zdarzenia zakłócające przebieg operacji (np. utrata zdolności jakościowej, podjęte działania korygujące).

Powyższe dane dotyczące realizacji procesu wytwarzania zasila blok (moduł) sterowania jakością, po czym wraz z danymi wyjściowymi tego bloku (np. wskaźnikami zdolności jakościowej procesu, informacją o jego rozregulowaniu) umożliwią podjęcie racjonalnych decyzji dotyczących zarówno przyjmowania nowych zamówień, jak i dokonania ewentualnych korekt w realizowanych aktualnie zleceniach, czyli zmiany harmonogramu produkcji w celu dostosowania go do aktualnej sytuacji na stanowiskach roboczych.

W dalszej części rozdziału przedstawione zostały metody wykorzystywane przez poszczególne bloki funkcjonalne systemu SPiJP.

2.1. Wariantowanie procesów technologicznych

W trakcie projektowania procesów technologicznych rozpatruje się wiele wariantów [1, 2]. Każdy z nich musi podlegać ocenie z punktu widzenia przyjętego kryterium, np. czasu czy kosztu wytworzenia. Wariantowanie może odbywać się na różnych poziomach struktury procesu technologicznego dla przyjętego rodzaju półfabrykatu.

Opracowywana metoda wariantowania procesów technologicznych umożliwi opracowanie wariantów struktury i wariantów wykorzystywanych zasobów (stanowisk produkcyjnych). Dla każdego z wariantów określony zostanie czas i koszt jego realizacji. Dodatkowo, przewidziano możliwość szczegółowego wariantowania (parametrów obróbki) dla procesów technologicznych realizowanych przez obróbkę skrawaniem.

Zasadniczo wariantowanie procesu technologicznego można podzielić na dwa obszary [3, 4]:

- wariantowanie struktury procesu technologicznego (optymalizacja podstawowych powiązań elementów struktury procesu: układu operacji, zabiegów, przejść obróbkowych),
- wariantowanie parametryczne (optymalizacja podsystemów procesu technologicznego: parametrów skrawania).

Wariantowanie procesów technologicznych w systemie SPiJP będzie przeprowadzane z wykorzystaniem autorskiej metody powierzchni elementarnych (MPE), która w swej istocie

obejmuje wariantowanie dwóch wymienionych obszarów procesu technologicznego: struktury i parametryzacji. Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej (por. [5]) stwierdzono, że nie istnieją metody wariantowania uwzględniające łącznie oba te obszary.

Założeniem metody powierzchni elementarnych (MPE) jest to, że w danej części obrabianej możliwe jest wydzielenie powierzchni elementarnych. Można je zdefiniować jako: wydzielone fragmenty części obrabianej składające się na jej konstrukcyjny kształt końcowy, mające charakterystyczne wymiary geometryczne i parametry jakościowe (np. chropowatość powierzchni, dokładność wykonania), które determinują sposób jej wykonania. Ten typ powierzchni elementarnych nazwano powierzchniami elementarnymi konstrukcyjnymi (PE-K). Kształtowanie półfabrykatu następuje w wyniku wykonania powierzchni elementarnych operacyjnych (PE-O), czyli powierzchni powstających w wyniku zaplanowanego wykonania PE-K składających się na daną część obrabianą, mających określony stan początkowy (wymiarów geometrycznych, parametrów jakościowych), który w wyniku zastosowania danego sposobu obróbki przechodzi w stan końcowy (zbliżając PE-O do PE-K).

Dla danej części obrabianej wyróżnia się dopuszczalne z punktu widzenia technologii jej wykonania zbiory (zestawy) opisujących ją powierzchni elementarnych operacyjnych (PE-O). Determinują one, wraz ze sposobami ich wykonania, poszczególne warianty wykonania części (warianty procesu technologicznego). Metoda została szerzej przedstawiona w [5].

2.2. Harmonogramowanie produkcji

Harmonogramowanie produkcji jest złożonym procesem, istotnie wpływającym na koszty i efektywność procesu produkcyjnego. Nabiera ono szczególnego znaczenia w obliczu nowych wymagań, jakimi są produkcja elastyczna (krótkie serie produkcyjne, zmienne wymagania klientów) czy produkcja szybka (skracanie się czasu pomiędzy opracowaniem koncepcji wyrobu a jego wyprodukowaniem) [6]. Prawidłowe zaplanowanie, a następnie sterowanie przepływem produkcji stanowi kluczowy warunek terminowego przekazania klientowi produktu o wymaganej jakości.

W dotychczas spotykanych rozwiązaniach problemu harmonogramowania stosowane były różne metody: programowanie dyskretne [7], metaheurystyki [8], metody sztucznej inteligencji [9, 10, 11, 12]. Jednakże przedstawiane w literaturze rozwiązania mogą być stosowane tylko w określonych warunkach, (np. przy ograniczeniu się do jednej lub dwóch maszyn, w produkcji rytmicznej), a dodatkowe założenia (np. nieskończona pojemność magazynów) sprawiają, że w większości przypadków ich bezpośrednie zastosowanie w praktyce przemysłowej jest trudne.

Na potrzeby systemu SPiJP, tworzonego dla przedsiębiorstw o niskiej stabilizacji produkcji (co w praktyce oznacza często przedsiębiorstwa małe i średnie, a zatem także takie, któ-

rych nie stać na zakup zaawansowanego systemu planowania i harmonogramowania), podjęto prace nad nową metodą harmonogramowania produkcji (harmonogramowania dynamicznego), która będzie skuteczna i efektywna w sytuacji częstego wprowadzania zmian asortymentowo–ilościowych do programu produkcji.

Harmonogramowanie przeprowadzane będzie za pomocą metody analitycznej, wykorzystującej reguły priorytetów. Zakłada ona, że kolejne, pojawiające się w systemie zadania są sekwencyjnie przydzielane do odpowiednich rodzajów zasobów (zdefiniowanych na wcześniejszym etapie wariantowania procesu technologicznego) przy zachowaniu terminu ich wykonania, przy czym zadania pochodzące z zamówienia o najwyższym priorytecie są rozmieszczane w pierwszej kolejności. W przypadku konieczności wprowadzenia zmian do harmonogramu na skutek wystąpienia określonych zdarzeń (np. awaria maszyny, utrata zdolności jakościowej procesu), wykorzystywana jest ta sama metoda, przy czym zmieniane są tylko te przyporządkowania zadań do zasobów, które są niezbędne (nie jest przebudowywany cały harmonogram).

Aktualizacja harmonogramu dynamicznego jest wykonywana cyklicznie (częstotliwość aktualizacji jest stała) na podstawie danych diagnostycznych zarejestrowanych na stanowiskach roboczych oraz zmian w zamówieniach klientów (np. zmiana liczby zamówionych wyrobów, wpłynięcie zamówienia o wysokim priorytecie).

Szerzej kwestia harmonogramowania dynamicznego została przedstawiona w [13].

Należy dodać, że przyjęte na obecnym etapie prac rozwiązanie może zostać zmodyfikowane lub zastąpione innym, ze względu na wysokie wymagania efektywnościowe wobec metody harmonogramowania dynamicznego.

2.3. Sterowanie jakością wyrobów i procesów wytwórczych

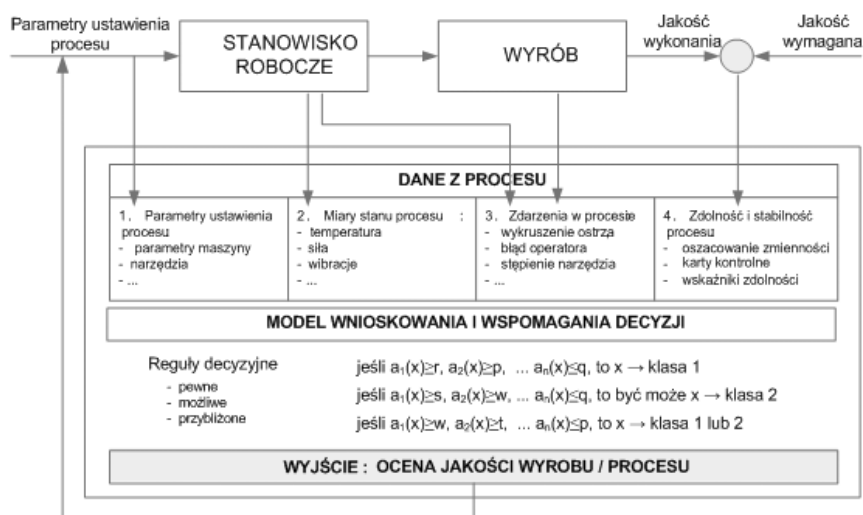
Do niedawna podejście do problematyki zapewnienia jakości polegało na kontroli i podejmowaniu działań sterujących po zakończeniu kolejnych etapów produkcji (np. kontrola techniczna przeprowadzona po zakończeniu operacji). Współcześnie sterowanie jakością przeprowadzane jest w sposób ciągły, już w czasie realizacji procesu produkcyjnego [14, 15]. Ma ono charakter doraźnych działań, interwencji i ma na celu operacyjne zabezpieczenie wymaganej jakości wykonania. Działania te mogą polegać między innymi na wymianie narzędzia, skorygowaniu parametrów procesu, zaostreniu kryteriów kontroli itp.

Pomimo dysponowania zaawansowaną techniką pomiarową, stosowania coraz bardziej przyjaznego i rozbudowanego oprogramowania do przetwarzania wyników kontroli jakości, zrealizowanie sprawnie działającego sprzężenia informacyjnego pomiędzy procesem wytwarzania a pozostałymi elementami systemu stwarza w praktyce nadal duże problemy. W wielu przypadkach dane o jakości w toku produkcji są marnotrawione.

W literaturze brak jest również informacji o rozwiązaniach pozwalających wykorzystywać informacje o jakości (wyrobów, maszyn, procesów) w obszarze sterowania przepływem produkcji.

W opracowywanym systemie SPiJP ocena jakości wyrobów (półfabrykatów) uzyskiwanych na danym stanowisku produkcyjnym oraz ocena zdolności jakościowej procesu (tu: danego stanowiska produkcyjnego) stanowić będzie jedno z kryteriów podczas tworzenia dynamicznego harmonogramu produkcji.

W systemie zaimplementowane zostaną tradycyjne statystyczne wskaźniki zdolności jakościowej procesu (np. c_p , c_{pk}) oraz nowa metoda oceny jakości procesu wytwarzania uwzględniająca wiele cech jakościowych wyrobu (nie tylko krytyczną) i wiele charakterystyk procesu. Zaproponowana metoda wywodzi się z nauk decyzyjnych. Oparte na teorii zbiorów przybliżonych regułowe podejście do modelowania preferencji decydenta w wielokryterialnym problemie decyzyjnym ([16]) zastosowano do szacowania jakości wyrobów i oceny jakości (stabilności) procesu wytwarzania. Koncepcję metody oceny jakości procesu przedstawiono na rys. 2



Rys. 2. Koncepcja metody oceny jakości

Fig. 2. Concept of quality evaluation method

Z zebranych danych o procesie, tj. zarejestrowanych na stanowisku produkcyjnym miar stanu procesu (np. temperatura, wibracje), 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 (ang. *process safety index*, PSI).

Szerszy opis metody zawarto w [17].

3. Model danych systemu SPiJP

Funkcjonalność systemu sterowania przepływem i jakością produkcji, którego koncepcję przedstawiono w poprzednim rozdziale, jest bardzo rozbudowana. Stąd w ramach jego pierwszej, aktualnie opracowywanej „akademickiej” implementacji nie powstanie rozwiązanie informatyczne gotowe do wdrożenia w przedsiębiorstwie produkcyjnym. Będzie ono służyć przede wszystkim weryfikacji opracowanych metod i badaniu efektywności współpracy poszczególnych modułów aplikacji.

Poniżej przedstawiono założenia dotyczące tworzonej na potrzeby systemu SPiJP bazy danych oraz odpowiadający im pojęciowy model danych.

3.1. Założenia

Na etapie tworzenia konceptualnego modelu danych, kierując się pierwszoplanowym celem budowy systemu SPiJP, jakim jest wspomniana weryfikacja metod opisanych w rozdziale drugim, przyjęto następujące założenia:nie

- uwzględnia się danych i procesów związanych z gospodarką materiałową i magazynową,
- nie uwzględnia się danych o zasobach ludzkich (np. operatorzy maszyn),
- nie uwzględnia się danych wspomagających opracowanie wariantów procesu technologicznego (np. dokumentacja konstrukcyjna, narzędzia przypisane do stanowisk produkcyjnych). Jednak na potrzeby harmonogramowania dynamicznego, w systemie będą gromadzone i przetwarzane wyniki metody wariantowania procesów technologicznych, tj. dane o możliwych wariantach wykonania danego wyrobu,



Rys. 3. Diagram związków encji (ERD)
 Fig. 3. Entity relationship diagram (ERD)

- w systemie będą obliczane tradycyjne wskaźniki zdolności jakościowej procesu, podczas gdy jego ocena uzyskiwana dzięki zastosowaniu reguł decyzyjnych (jak i sama indukcja reguł) będzie wyznaczana poza systemem za pomocą specjalizowanego oprogramowania,
- za szczególnie istotne uznaje się wkomponowanie danych dotyczących charakterystyk jakościowych wyrobu i procesu w „tradycyjny” model danych produkcyjnych stosowany w informatycznych systemach zarządzania przedsiębiorstwem (np. klasy MRPII/ERP),
- zakłada się brak wersjonowania encji – pomija się ich okresy ważności, (np. czas obowiązywania struktury wyrobu).

3.2. Model związków encji

W niniejszym podrozdziale przedstawiono i omówiono model związków encji dla systemu sterowania przepływem i jakością produkcji. Na rysunku 3. przedstawiono w celach poglądowych cały diagram ERD (ang. *entity relationship diagram*), by w dalszej części pracy omówić jego poszczególne fragmenty.

Ze względu na decyzję o wykorzystaniu do budowy systemu SPiJP systemu zarządzania bazą danych Oracle (Oracle 10g XE), model danych przygotowano za pomocą narzędzia CASE tego samego producenta – Oracle Designer 9i.

3.2.1. Zamówienia klientów

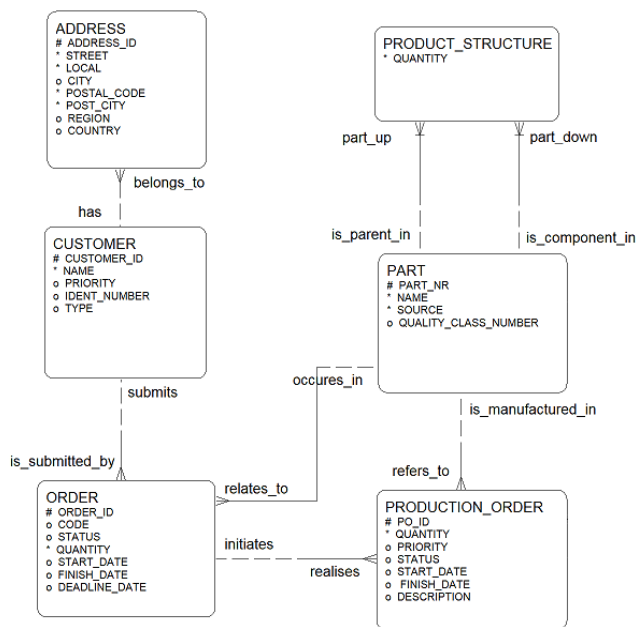
Klienci (ang. *customer*) składają zamówienia (ang. *order*) na wyroby (części – ang. *part*). Wyrób posiada strukturę (ang. *structure*), gdyż składa się z pewnych podzespołów (ogólnie: części). Zamówienie klienta inicjuje wystawienie zleceń produkcyjnych (ang. *production order*) na zamawiany wyrób (może być ich kilka – np. ze względu na wielkość zamówienia) oraz, o ile takie występują w jego strukturze, na podzespoły zamawianego wyrobu. Zlecenie produkcyjne charakteryzuje się priorytetem, który w momencie jego wystawiania (tworzenia) odpowiada priorytetowi klienta (rys. 4).

3.2.2. Struktury wyrobów

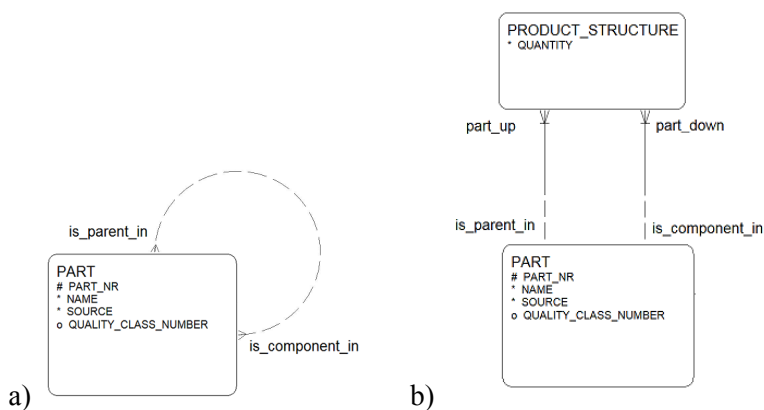
Do reprezentowania struktury wyrobu (drzewa wyrobu) wykorzystano powszechnie przyjęty w literaturze i praktyce graf Gozinto (ang. *goes into*, pol. „wchodzi w”) [18]. Graf ten ma strukturę sieciową, jego węzłami zaś są części (ang. *parts*), przez które rozumie się wszystkie elementy drzewa wyrobu – od surowca czy materiału, przez półfabrykaty po wyrób finalny. Wzajemne powiązania pomiędzy częściami typu „składa się z”, „wchodzi w skład” odwzorowuje unarny związek „wiele do wiele” (rys. 5a).

Charakteryzuje się on liczbą (lub ilością) (ang. *quantity*), w jakiej jedna część występuje w drugiej, np. 30 szprych w kole lub 1,5 kg stali w pokrywie zbiornika (por. [18]).

W notacji Oracle nie ma możliwości zamodelowania atrybutów związku, dlatego związek unarny należy zastąpić encją intersekcji PRODUCT_STRUCTURE (por. [19]), co zilustrowano na rys. 5b.



Rys. 4. Zamówienia klientów
Fig. 4. Customer orders

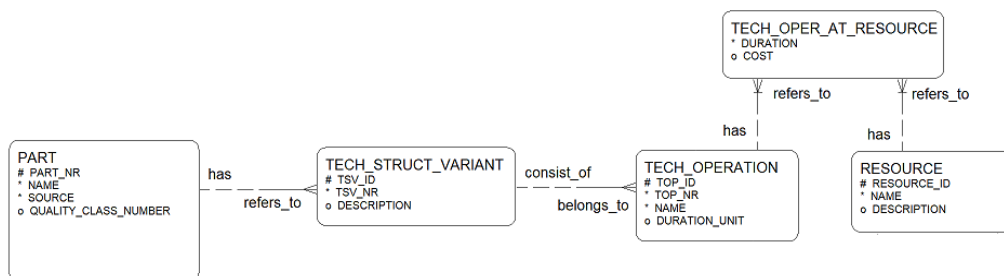


Rys. 5. Modele danych struktury wyrobu
Fig. 5. Data models of product structure

3.2.3. Warianty procesu technologicznego

Część zostaje wyprodukowana w wyniku wykonania pewnej sekwencji operacji technologicznych (ang. *technological operation*). Dana sekwencja operacji odpowiada wariantowi struktury procesu technologicznego (ang. *variant of technological process structure*). Część może posiadać wiele wariantów wykonania (rys. 6). Wariant struktury procesu technologicznego składa się z sekwencji operacji technologicznych (TOP_NR – kolejny numer ope-

racji w wariancie). Operacja technologiczna może być wykonana na wielu zasobach (ang. *resource*), a jej wykonanie na danym zasobie (ang. *technological operation at resource*) cechuje czas trwania (ang. *duration*) i koszt (ang. *cost*).

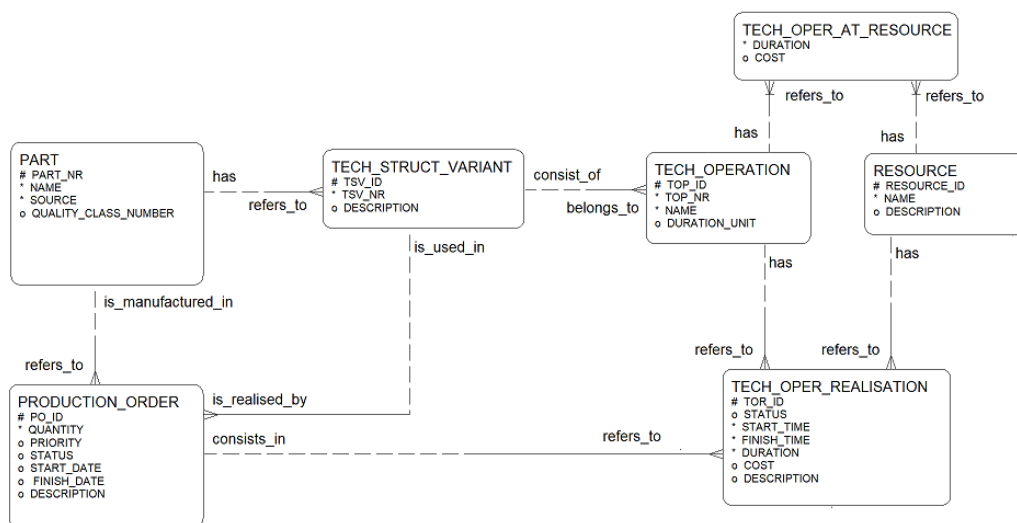


Rys. 6. Warianty procesu technologicznego
Fig. 6. Technological process variants

3.2.4. Harmonogramowanie produkcji

Harmonogram wyznacza przyporządkowanie w czasie zadań do zasobów.

Zlecenie produkcyjne na daną część realizowane jest zgodnie z jednym z wariantów struktury procesu technologicznego (rys 7).



Rys. 7. Model danych dla harmonogramowania produkcji
Fig. 7. Data model for production scheduling

Na zlecenie produkcyjne składa się (fizyczne) wykonanie operacji technologicznych (ang. *technological operation realisation*). Wykonanie operacji technologicznej ma miejsce w konkretnym przedziale czasu (START_TIME, FINISH_TIME), odnosi się do pewnej operacji technologicznej, ma miejsce na pewnym zasobie. Nie zakłada się możliwości równoległego wykonywania danej operacji technologicznej zlecenia produkcyjnego na kilku zasobach – wykonanie operacji technologicznej dotyczy całej partii wyrobów, której wielkość (QUANTITY) jest atrybutem zlecenia produkcyjnego.

Jak wspomniano wcześniej, dynamiczny harmonogram produkcyjny ustalany będzie z uwzględnieniem priorytetów zleceń produkcyjnych, ale także danych diagnostycznych i charakterystyk jakościowych procesów wytwarzania. W kolejnym podrozdziale przedstawiono model danych opisujących jakość produkowanych wyrobów oraz stan (w tym także jakość) procesów wytwarzania.

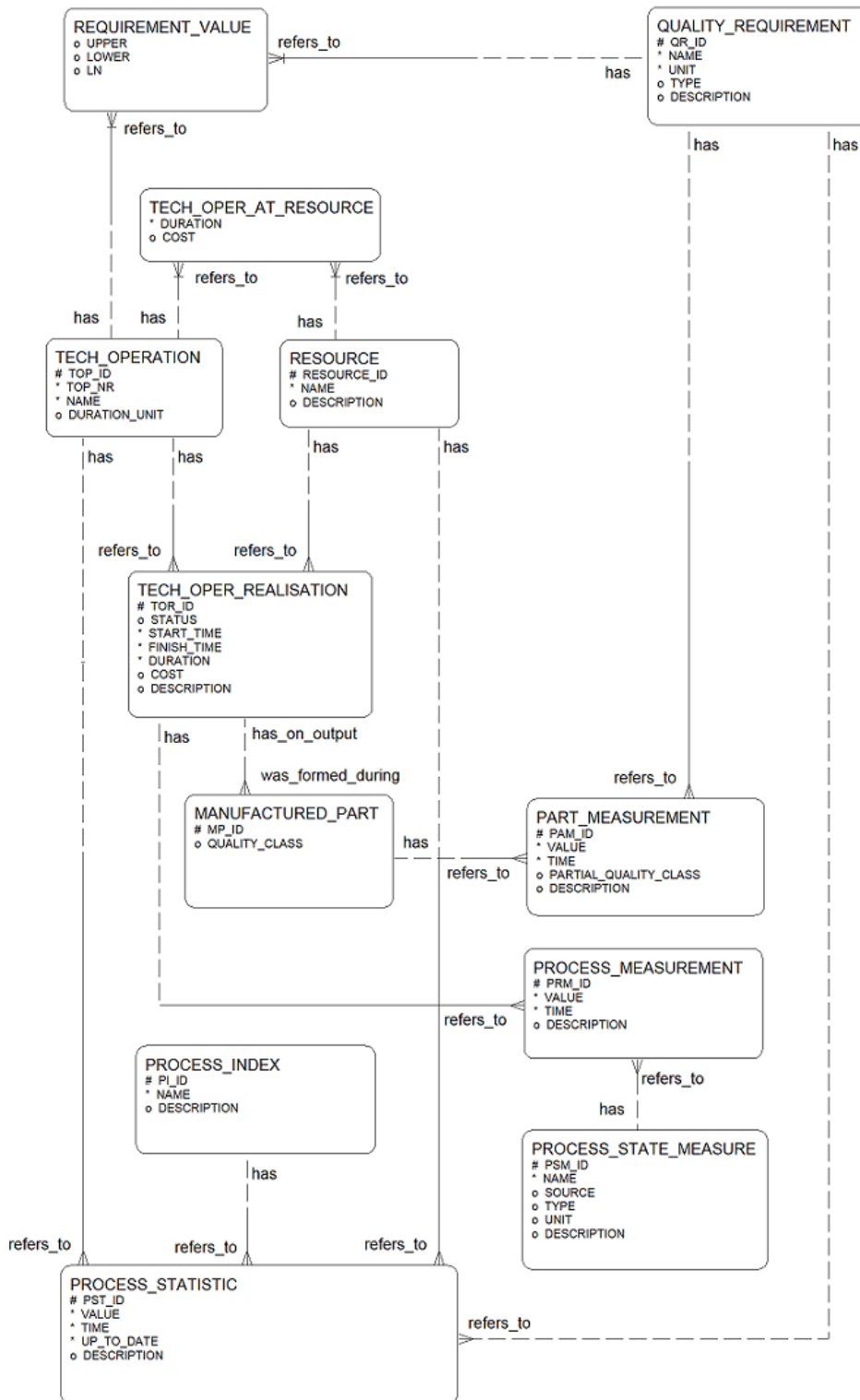
3.2.5. Charakterystyki jakościowe wyrobów i procesów

Wytwarzane części (wyroby) muszą spełniać określone przez projektanta (lub w szczególnym przypadku klienta) wymagania jakościowe (ang. *quality requirement*). W przyjętym modelu operacja technologiczna przynależy zawsze do jednej części (por. rys. 6). Wymagania jakościowe, które muszą być spełnione przez część, przypisano bezpośrednio operacji technologicznej, po wykonaniu której następuje kontrola spełnienia przez (być może jeszcze niewykończoną) część danego wymagania jakościowego (rys. 8). Dane wymaganie jakościowe (np. średnica, twardość, chropowatość powierzchni) przyjmuje różne wartości (wartość wymagania, ang. *requirement value*) dla poszczególnych, związanych z wykonaniem różnych części, operacji technologicznych. Wartości wymagań jakościowych mogą być wyrażone w postaci górnej lub dolnej wartości dopuszczalnej, „odchylenia” od wartości nominalnej (np. minimalna wytrzymałość, maksymalna chropowatość).

W wyniku wykonywania operacji technologicznej, w danym przedziale czasu, powstają konkretne części (wyprodukowana część, ang. *manufactured part*). Wyprodukowana część może zostać poddana pomiarom. Pomiar części (ang. *part measurement*) wykonywany jest w konkretnym punkcie w czasie (TIME) i dotyczy jednego z wymagań jakościowych. Także proces, przez który w inżynierii jakości rozumie się operację technologiczną wykonywaną na stanowisku produkcyjnym, poddawany jest pomiarom. Pomiar procesu (ang. *process measurement*) dotyczy zatem realizacji operacji technologicznej.

Pomiar wykonywany jest w konkretnym punkcie w czasie (TIME) i dotyczy pewnej miary stanu procesu (ang. *process state measure*), takiej jak temperatura, wibracje, szybkość skrawania. Dla uproszczenia przyjęto, że pojęcie pomiar procesu obejmuje tu także obserwację zdarzenia (np. awarię maszyny, wykruszenie się ostrza).

Na podstawie pomiarów części i procesów obliczane będą statystyki procesu (ang. *process statistic*), przez które rozumie się wartości pewnego wskaźnika procesu (ang. *process index*) w danym momencie lub przedziale czasu. Statystyka procesu dotyczy przebiegu pewnej operacji technologicznej na pewnym zasobie i może odnosić się do wymagania jakościowego.



Rys. 8. Model danych dla sterowania jakością
 Fig. 8. Data model for quality control

4. Podsumowanie

W pracy przedstawiono koncepcję i model danych systemu sterowania przepływem i jakością produkcji. System SPiJP dedykowany jest przedsiębiorstwom o produkcji małoseryjnej na zamówienie klienta, które winny elastycznie reagować na zmiany warunków produkcji i portfela zamówień.

Omówiono główne bloki funkcjonalne systemu: wariantowanie procesów technologicznych, harmonogramowanie produkcji i sterowanie jakością oraz przedstawiono koncepcję ich współpracy. Scharakteryzowano metody przypisane poszczególnym modułom systemu, tj. metodę powierzchni elementarnych do wariantowania procesów technologicznych, harmonogramowanie dynamiczne oraz metodę oceny jakości (stabilności) procesu wytwarzania wykorzystującą teorię zbiorów przybliżonych.

Po przedstawieniu założeń dotyczących przeprowadzanej aktualnie implementacji systemu SPiJP zaprezentowano i omówiono jego pojęciowy model danych.

Powstająca obecnie, akademicka implementacja systemu SPiJP posłuży jako rozwiązanie testowe, mające na celu weryfikację zaproponowanych metod i możliwości ich współdziałania.

Zastosowanie w przedsiębiorstwach, w szczególności małych i średnich, w pełni funkcjonalnego systemu informatycznego opartego na przedstawionej koncepcji ułatwiłoby im zwiększenie efektywności wykorzystania zasobów, skrócenie czasu realizacji zróżnicowanych zleceń produkcyjnych oraz utrzymanie wymaganej jakości wykonania wyrobów niezależnie od występujących zakłóceń, a w efekcie uzyskanie przewagi konkurencyjnej na rynku.

BIBLIOGRAFIA

1. Feld M.: Projektowanie procesów technologicznych typowych części maszyn. PWN, Warszawa 2000.
2. Poradnik inżyniera. Obróbka skrawaniem, t. 3, WNT, Warszawa 1994.
3. Szadkowski J.: Projektowanie operacji wielonarzędziowych – złożone modele sieciowe pracy narzędzi. Postępy Technologii Maszyn i Urządzeń, 1984, nr 4.
4. Wieczorowski K., Pająk E.: Podstawy optymalizacji operacji technologicznych w przykładach. PWN, Warszawa 1982.
5. Żywicki K., Zastosowanie metody powierzchni elementarnych do wariantowania operacji technologicznych. Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2008.
6. Naylor J., Naim B., Berry M.: Leagility, Integrating the lean and agile manufacturing paradigms in the total supply chain. Int. J. Production Economics, 1999, nr 62, s. 107÷118.

7. Berliński A., Honczarenko J.: Harmonogramowanie zadań produkcyjnych w ESW metodami programowania dyskretnego. Prace Naukowe Instytutu Technologii Maszyn i Automatykacji Politechniki Wrocławskiej, 2000, nr 41.
8. Buchalski Z.: Heurystyczny algorytm szeregowania zadań w systemach produkcyjnych z maszynami równoległymi w warunkach ograniczeń zasobowych. VI Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 2004, WNT, Warszawa 2004.
9. Grabowski J., Wodecki M.: Nowe elementy algorytmu symulowanego wyżarzania dla problemu przepływowego. VI Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 2004, WNT, Warszawa 2004.
10. Knosala R.: Zastosowanie metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. WNT, Warszawa 2002.
11. Makuchowski M.: Symulowane wyżarzanie w problemie gniazdowym z operacjami wielomaszynowymi nierównocześnie wykorzystującymi maszyny. VI Konferencja Komputerowo Zintegrowane Zarządzanie, Zakopane 2004, WNT, Warszawa 2004.
12. Tanga H., Wong T.: Reactive multi-agent system for assembly cell control, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2005, nr 21, s. 87÷98.
13. Kujawińska A., Żywicki K., Hamrol A., Pająk E.: System sterowania przepływem i jakością produkcji. Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 2008, Vol. 28, No. 2, s. 95÷106.
14. Hamrol A.: Zarządzanie jakością z przykładami. PWN, Warszawa 2008.
15. Juran J.M., Blanton Godfrey A.: Juran's Quality Handbook. McGraw-Hill, 2000.
16. Figueira J., Greco S., Ehrgott M.: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the art surveys, rozdział 13: Greco S., Matarazzo B., Słowiński R.: Decision Rule Approach. Springer, 2005.
17. Hamrol A., Kujawińska A., Piłacińska M., Rogalewicz M.: The new method of process quality evaluation, 11th International QMOD Conference, Quality Management and Organizational Development Attaining Sustainability From Organizational Excellence to Sustainable Excellence, 20–22 August 2008, Helsingborg, Szwecja, <http://www.ep.liu.se/ecp/033/036/>.
18. Kurbel K.: Produktionsplanung und –steuerung. Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen, Oldenbourg Verlag, München 2003.
19. Barker R.: CASE*MetodSM. Modelowanie związków encji. WNT, Warszawa 2005.

Recenzent: Dr inż. Jacek Frączek

Abstract

In the paper the idea of the system of production flow and quality control (SSPiJP) and its data model is presented. The system is finally dedicated to the production enterprises characterized by a make-to-order production approach, which have to react flexibly to changing production conditions and the backlog of orders.

The main idea of the system is to deliver a tool which enables flexible and effective production scheduling on the basis of the data about: the backlog of orders, an occupancy of work stations and quality capabilities of manufacturing processes. In the system there are distinguished three functional modules: of preparing technological processes' variants, of production scheduling, and of quality control. The general idea of their collaboration and the functioning of the system is presented in figure 1.

The following methods are used by the appropriate system modules:

- the method of preparing technological processes' variants called the elementary surfaces method (MPE) which enables to design the structural and parametrical variants of technological process,
- the analytical method of production scheduling using priority rules called dynamical scheduling,
- the new method of a quality evaluation of a manufacturing process based on a decision rules approach using the rough set theory (fig. 2).

In the further part of the paper the conceptual data model of the SPiJP system is presented. In figure 3 the whole entity relationship diagram (ERD) is shown. The particular entities and relationships are discussed in detail within the following subject areas: customer orders (fig. 4), product structures (fig. 5), technological process variants (fig. 6), production scheduling (fig. 7), and quality control (fig. 8).

Currently the first academic implementation of the system is being prepared. It is not a software product ready to be introduced in the production enterprise, but rather the test solution suitable to verify the elaborated methods and the effectiveness of their collaboration.

Adresy

Maria PIŁACIŃSKA: Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska.

Konrad LEŚNIAK: Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska.

Agnieszka KUJAWIŃSKA: Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska.

Krzysztof ŻYWICKI: Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Mechanicznej,
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, Polska.