

MODELOWANIE PROCESÓW ROZWOJU WYROBÓW

Jan DUDA, Adrian STADNICKI

Streszczenie: Creating work diagrams of design teams realizing a product development process is a significant element of the PDM (Product Data Management) systems implementation. Concurrent Engineering (CE) strategies evolving to Concurrent Enterprise Engineering (CEE) strategies are widely used in product development processes. In the paper a model of product development process created in accordance with CE strategy and based on Business Process Modeling Notation is presented.

Słowa kluczowe: CE, CEE, product development, BPMN, modeling

1. Wstęp

W zintegrowanym komputerowo rozwoju wyrobów, procesów i systemów wytwarzania stosowanych jest szereg metod wspomagających działania, które tworzą informację ukierunkowaną na definiowanie wyrobu, procesu i systemu wytwarzania. Jednym z ważniejszych efektów wdrażania systemów produkcyjnych umożliwiających realizację nowoczesnych strategii rozwojowych wyrobów jest skrócenie cykli uruchomień nowych wyrobów oraz przyśpieszenie realizacji zamówień. Skala uzyskiwanych efektów zależy od sprawności powiązań informacyjno decyzyjnych fazy technicznego przygotowania produkcji ze sferą planowania systemów sterowania produkcją. Do przyśpieszenia czynności projektowych przyczynia się głównie stosowanie systemów wspomagania komputerowego w realizacji faz rozwojowych wyrobów procesów i systemów wytwarzania ze zwiększającym się poziomem automatyzacji czynności projektowych, natomiast uzyskanie powiązań informacyjno-decyzyjnych osiągnąć można przez zastosowanie zintegrowanych systemów informatycznych.

2. Strategie rozwoju wyrobów

Rozwój wyrobu zgodnie z nowymi strategiami rozwojowymi kładzie nacisk na:

- wykonanie wszystkich niezbędnych faz w cyklu życia wyrobu możliwie równocześnie CE (Concurrent Engineering). Strategia CE zakłada, że zasoby i obiekty produkcyjne mogą być planowane we wczesnych fazach projektowych w celu skrócenia czasu uruchomienia produkcji,
- uwzględnienie przenikania się działań o charakterze biznesowym z działaniami inżynierskimi CEE (Cross Enterprise Engineering), która także umożliwia dostęp do komponentów współpracujących przedsiębiorstw. Równoległość i integracja projektów wyrobów i procesów rozpoczyna się na wczesnych etapach rozwoju i obejmuje zarówno dostawców, jak i klientów a także różne wewnętrzne i zewnętrzne

rozwiązania IT. CEE oznacza, że komponenty wyrobów; części, złożenia oraz systemy i podsystemy funkcjonalne są projektowane i rozwijane poprzez granice lokalne biznesowe i inżynierskie. W tym przypadku intranet i internet są coraz częściej stosowane jako środki komunikacji i wymiany informacji.

3. Kierunki integracji systemów komputerowego wspomaganie stosowanych w cyklu życia wyrobów

Integrację systemów komputerowego wspomaganie, stosowanych w cyklu życia wyrobu, można rozpatrywać jako:

- integrację funkcjonalną polegającą na połączeniu możliwości wykonywania różnych czynności projektowych w ramach jednego systemu, co następuje poprzez bezpośrednie wykorzystywanie wyników pracy jednych podsystemów przez inne, oraz operowanie na wspólnych modelach danych o wyrobie, procesach i zasobach, przy pomocy których realizuje się procesy wytwarzania,
- integrację informacyjną polegającą na tym, że wyniki pracy jednego systemu są przekazywane do drugiego z wykorzystaniem systemów informatycznych, z pominięciem tradycyjnych form obiegu informacji,
- integrację kompleksową polegającą na rozpatrywaniu współpracy systemów komputerowego wspomaganie z systemami informacyjnymi kooperujących ze sobą przedsiębiorstw, obejmującymi pozostałe sfery ich funkcjonowania, tj. marketing, zbył, zaopatrzenie, księgowość, finanse, rozwój zdolności produkcyjnych przedsiębiorstwa, gospodarkę kadrami, itp.

3.1. Integracja funkcjonalna

Istotna cecha zautomatyzowanych systemów produkcyjnych, jaką jest wysoki poziom integracji podsystemów funkcjonalnych pociąga za sobą konieczność integracji czynności procesu projektowania. Stąd zaznaczająca się w ostatnich latach tendencja do tworzenia pakietów aplikacji inżynierskich obejmujących znaczny zakres czynności projektowych związanych z projektowaniem wyrobów, procesów i systemów wytwarzania.

Integracja w obszarze konstrukcyjno technologicznego przygotowania produkcji odbywa się poprzez zwiększenie funkcjonalności systemów CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing) w zakresie projektowania technologicznego poprzez budowę modułów dla wspomaganie projektowania procesów technologicznych kształtowania pierwotnego (projektowania półfabrykatów) oraz wyspecjalizowanych modułów wspomagających projektowanie oprzyrządowania technologicznego. Wysoki poziom integracji, tak rozbudowujących się systemów, uzyskuje się poprzez zastosowanie wspólnego modelu danych PPR (Product, Process, Resources), który zabezpiecza wymianę danych pomiędzy modułami wykorzystywanymi w procesie projektowym. Poziom automatyzacji realizowanych funkcji wzrasta w wyniku stosowania rozbudowanych, zawierających informacje obiektów:

- szablonów, pozwalających na projektowanie procesu w oparciu o utworzony wcześniej wzorzec,

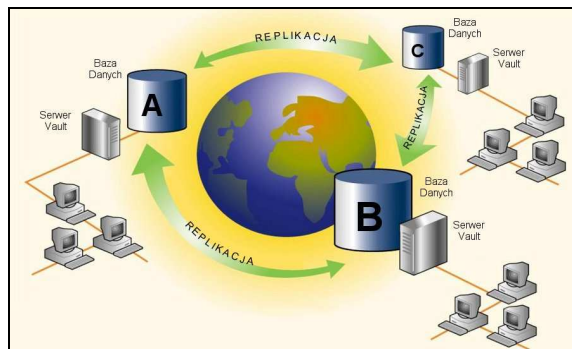
- modułów, pozwalających na zapis wiedzy technologicznej a następnie wykorzystanie tej wiedzy w procesie projektowym.

Mogą być one interpretowane w rozbudowany wariantowy sposób, charakterystyczny dla wnioskowania w systemach doradczych. Prowadzi to do powstania inteligentnych systemów CAD/CAM. Należy jednak zaznaczyć, że pomimo tak rozbudowywanej funkcjonalności gromadzona wiedza dotyczy obiektów wcześniej zamodelowanych w systemie CAD, a możliwość jej ponownego wykorzystania ograniczona jest do części technologicznie podobnych. Postęp umożliwiający realizację omawianych strategii rozwojowych wyrobu implikujących interaktywny rozwój wyrobu stawia określone wymagania dla systemów projektowania procesów technologicznych montażu CAAPP i CAPP. Przejawiają się one w zdolności do generowania na różnym poziomie szczegółowości dopuszczalnych wariantów realizacji procesów z możliwością zapisu, modyfikacji i przetwarzania wiedzy technologicznej (repozytoria wiedzy) oraz zapisu technologicznych charakterystyk systemu wytwarzania ukierunkowanych na charakterystykę realizowanych w przedsiębiorstwie procesów wytwórczych. Rozwiązania te poddawane analizie przez systemy DFX (ang. Design for x) pozwalałyby na dynamiczne kształtowanie charakterystyk wyrobu.

Przedmiotem projektowania technologiczno organizacyjnego systemu produkcyjnego jest kształtowanie przebiegów produkcyjnych (podstawowych i pomocniczych) oraz związanych z nimi procesów informacyjno decyzyjnych w przestrzeni i czasie. Projektowanie technologiczno organizacyjne systemu wytwarzania jest wspomagane systemami klasy (MPM ang. Manufacturing Process Management) do projektowania i zarządzania procesem wytwarzania.

3.2. Integracja informacyjna

Skuteczność realizacji strategii rozwojowych wyrobów CE i CEE wymaga lepszego zarządzania informacją w procesie produkcji. Sprawność działania zależy od dostarczenia właściwej informacji do właściwego miejsca, właściwym ludziom we właściwym czasie, czyli na odpowiedniej synchronizacji przepływu informacji. Ważną rolę odgrywają: systemy zarządzania danymi DBMS (Data Base Management Systems) oraz systemy zarządzania danymi na temat produktu PDM (Product Data Management).

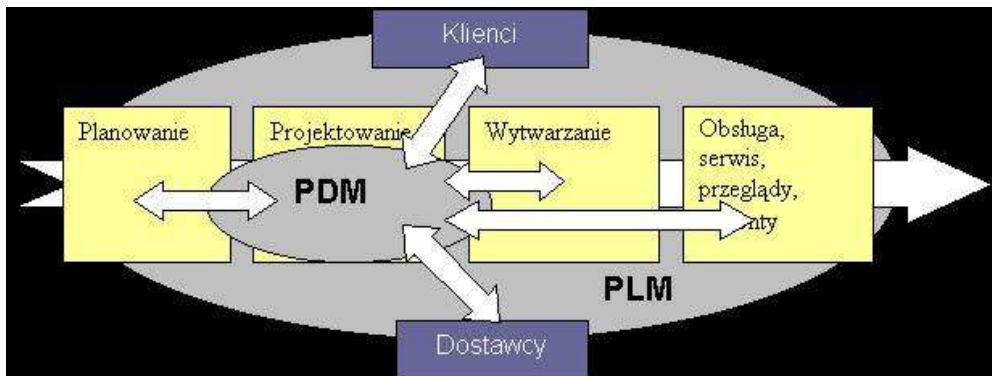


Rys. 1. Integracyjna rola systemów DBMS

Systemy zarządzania danymi służą do integracji danych pozyskiwanych i generowanych przez systemy komputerowego wspomaganie. Przy braku właściwego poziomu integracji dane te (MR - Manufacturing Resources) są reprezentowane wiele razy, w różnych formatach,

przez różne aplikacje. Powoduje to redundancje danych, dublowanie pracy i utrudnienia w komunikacji między systemami. Z tego też względu nastąpił rozwój systemów PDM.

Systemy PDM - zarządzania danymi dotyczącymi produktu - są przeznaczone do zapisu danych o strukturze wyrobu, dokumentacji konstrukcyjnej i procesach jego wytwarzania wraz z możliwością przetwarzania w środowisku systemów wymiany danych w postaci elektronicznej. Integracja ogranicza się w tym przypadku do powiązań informacyjnych przez wielodostęp do wspólnych zbiorów danych (Rys. 1.). Systemy PDM w swym podstawowym ujęciu służą przechowywaniu aktualizacji danych o wyrobie, natomiast w ujęciu rozszerzonym P²DM (Product Development Management) obejmują również problematykę zarządzania realizowanym procesem projektowym. Na tym tle integracja systemów komputerowego wspomagania może być rozpatrywana jako przejaw szerszej tendencji.

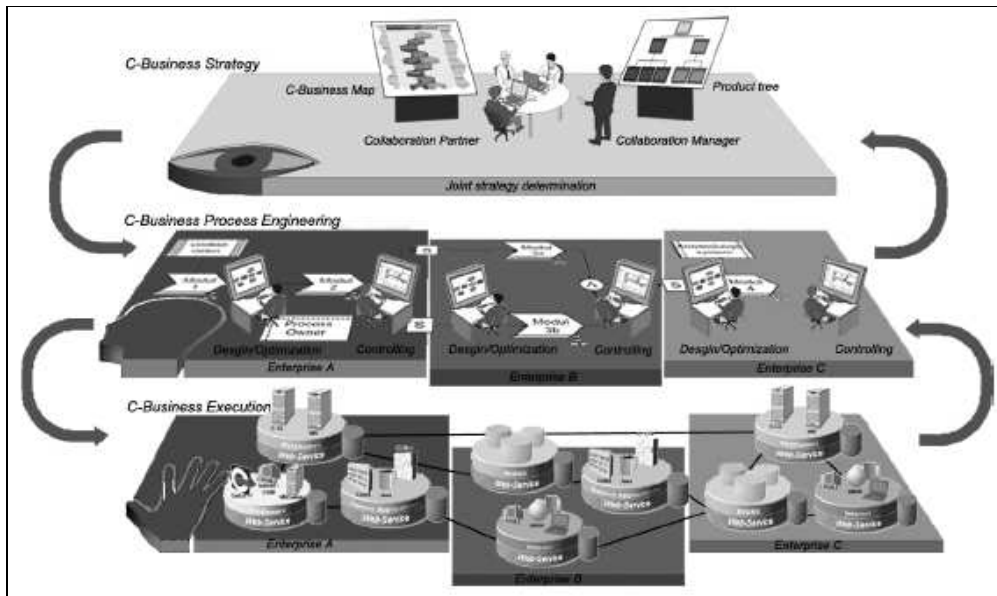


Rys. 2. Integracyjna rola systemów PDM w zarządzaniu rozwojem wyrobów [6]

W tym ujęciu systemy P²DM są istotnym elementem integrującym systemy CAx, Dfx, z systemami typu ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Customer Relation Management) oraz SCM (Supply Chain Management). Rozwój zintegrowanych systemów rozwoju wyrobu ewoluje w kierunku rozwiązań PLM-owych (Product Lifecycle Management) (Rys. 2.).

3.3. Integracja kompleksowa

Integracja kompleksowa polega rozpatrywaniu współpracy systemów komputerowego wspomagania z systemami informacyjnymi kooperujących ze sobą przedsiębiorstw. W zintegrowanym środowisku, z ciągłą zmianą partnerów biznesowych, systemy PLM muszą zapewniać realizację strategii CEE. Architektura systemu dla realizacji strategii CEE przedstawiona jest w pracy [1].



Rys. 3. Poziomy architektury systemu dla realizacji strategii CEE [1]

Architektura ta obejmuje trzy poziomy struktury połączone przez pętle sterujące realizacją koncepcji doskonałego procesu biznesowego, który składa się ze ścieżek pełnego cyklu życia zarządzania procesem biznesowym, obejmującym monitorowanie i sterowanie procesem biznesowym w czasie rzeczywistym (Rys. 3.). Pierwszy poziom (ang. C-Business Strategy) skupia się na strategii współpracy. W centrum drugiego poziomu (ang. C-Business Process Engineering) realizowana jest współpraca biznesowa w zakresie inżynierskim ujmującym projektowanie optymalizację i sterowanie zarówno wewnątrz, jak i pomiędzy współpracującymi przedsiębiorstwami. Na trzecim poziomie (ang. C-Business Execution) realizowana jest bieżąca implementacja procesów biznesowych w sieci wartości dodanej wspomaganą przez informacyjne i komunikacyjne technologie. Zarządzanie możliwościami dla projektów, produktów procesów przez wprowadzenie pełnego cyklu życia wyrobu jest rdzeniem funkcjonalności rozwiązań PLM-owych. Odkąd procesy inżynierskie stają się coraz bardziej zdecentralizowane i często realizowane z udziałem wielu organizacji, informacja musi być dystrybuowana i zarządzana w federacyjnym środowisku. Federacyjność w tym kontekście oznacza, że dane pozostają jako lokalne. Dostęp do logicznych i fizycznych baz danych realizowany jest poprzez numerację części i odpowiednią zmianę indeksów.

4. Systemy modelowania procesów rozwoju wyrobu

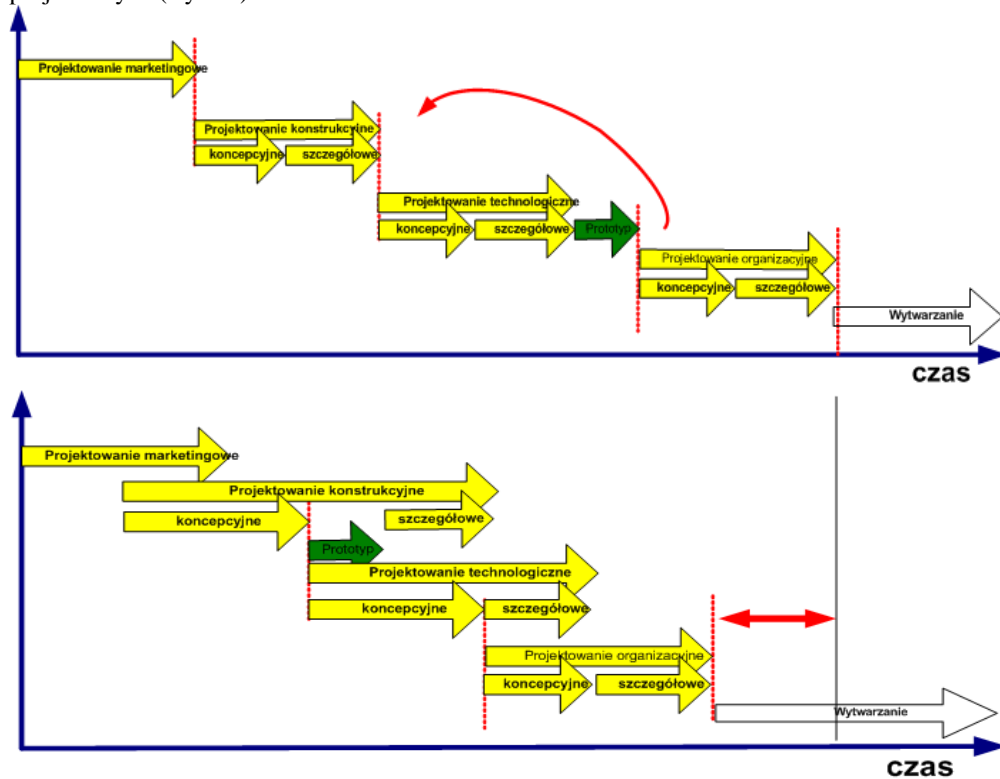
Do modelowania rozwoju wyrobu zgodnie z nowymi strategiami rozwojowymi, zastosowano metody ogólnego przeznaczenia. Metody te, można podzielić na dwie klasy oparte o: notację IDEF (Integration DEFinition language) oraz uniwersalny język modelowania UML

(Unified Modeling Language) [2,5]. Wyżej wymieniony podział, autor [2] proponuje uzupełnić o powstałą po 2000 roku notację modelowania procesów biznesowych BPMN (Business Process Modeling Notation).

Notacja BPMN jest graficzną notacją opisującą etapy w procesie biznesowym. Została zaprojektowana tak, aby odzwierciedlać przepływ procesów i wymianę informacji pomiędzy realizatorami procesu. Pomimo nieco większej komplikacji budowanych modeli w porównaniu z IDEF0, notacja BPMN jest lepszym narzędziem do modelowania rozwoju wyrobu, ponieważ posiada bogaty zestaw obiektów i elementów oraz umożliwia automatyczne generowanie kodu programu.

5. Modelowanie przygotowania produkcji zgodnie ze strategią CE

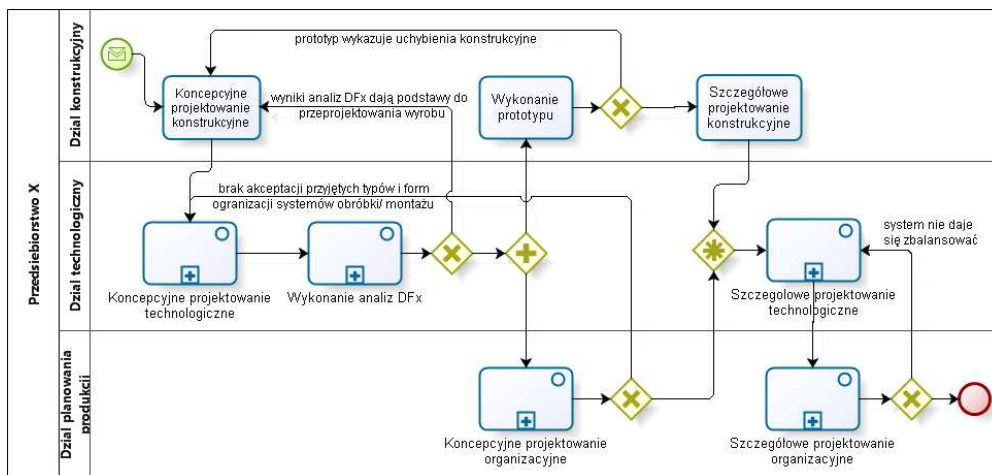
Integrację i współbieżność realizowanych działań uzyskano poprzez wydzielenie w każdym z etapów projektowania koncepcyjnego w wyniku którego tworzone są warianty rozwiązań projektowych (Rys. 4.).



Rys. 4. Wydzielenie etapów projektowania koncepcyjnego i szczegółowego i zrównoleżenie etapów rozwoju wyrobu

Warianty poddawane są ocenie z punktu widzenia kolejnego realizowanego etapu w cyklu rozwojowym. Wybrany wariant spełniający postawione kryteria jest następnie dopracowywany w fazie projektowania szczegółowego. Przyspieszenie procesu rozwojowego można uzyskać poprzez zastosowanie technik RP/RT (Rapid Prototyping/Rapid Tooling). Umożliwiają one przeniesienie fazy przygotowania prototypu na wcześniejszy etap. Fizyczny prototyp tworzony jest na podstawie cyfrowego modelu wyrobu. Zrównoleglenie projektowania konstrukcyjnego z technologicznym, technologicznego z organizacyjnym w znaczący sposób wpływają na skrócenie czasu przygotowania produkcji.

Zależności funkcyjne pomiędzy poszczególnymi fazami przygotowania produkcji zostały pokazane przy użyciu notacji BPMN (Rys. 5.). Realizację rozwoju wyrobu w przygotowaniu produkcji według CE wspomagają zasoby PLM – aplikacje wspomagające zarządzanie rozwojem wyrobu. Współbieżny proces rozwoju wyrobu realizowany jest przez zespoły projektowania konstrukcyjnego, technologicznego i organizacyjnego.



Rys. 5. Model ogólny procesu przygotowania produkcji wykonany w notacji BPMN przy użyciu oprogramowania BizAgi Process Modeler

W kolejnych punktach szczegółowo opisano podprocesy koncepcyjnego i szczegółowego projektowania konstrukcyjnego technologicznego i organizacyjnego z zastosowaniem metod i systemów komputerowego wspomaganie CAx i DfX. Integrację fazy konstrukcyjnej i technologicznej umożliwia zastosowanie metody DFMA (Design for Manufacturing and Assembly). Realizację współbieżnego projektowania konstrukcyjno-technologicznego wspomagają ponadto narzędzia komputerowego wspomaganie takie jak: CAD/CAM, CAAPP i CAPP.

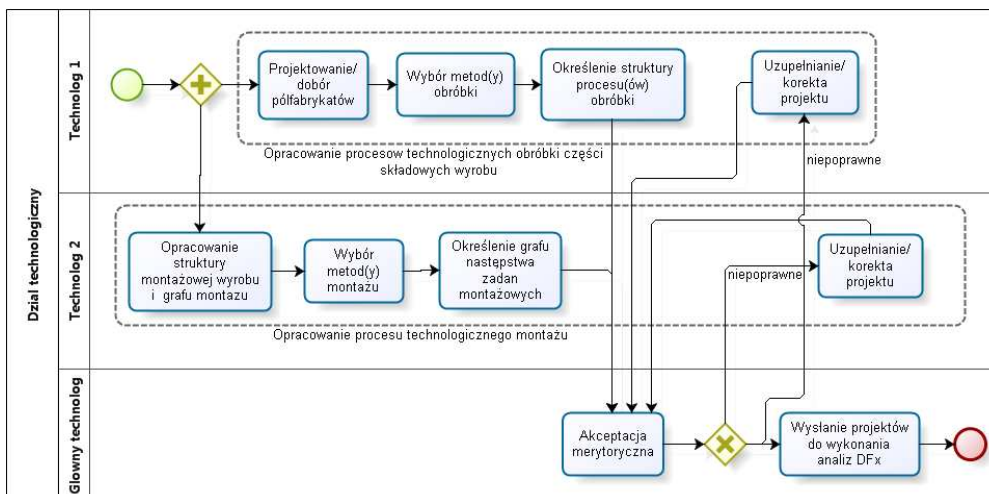
5.1. Podproces koncepcyjnego projektowania konstrukcyjnego (KPK)

Podproces KPK obejmuje tworzenie wstępnego modelu części składowych wyrobu i jego złożenia, odzwierciedlającego strukturę konstrukcyjną wyrobu w systemie CAD, z uwzględnieniem określonych na etapie projektowania marketingowego wymagań projektowych.

5.2. Podproces koncepcyjnego projektowania technologicznego (KPT)

Podstawą realizacji podprocesu KPT jest zadanie opracowania koncepcji procesu technologicznego, które dekomponowane jest na realizowane współbieżnie (Rys. 6.):

- Koncepcyjne projektowanie procesu montażu obejmujące:
 - opracowanie struktury montażowej wyrobu,
 - dobór metod łączenia jednostek montażowych i wyspecyfikowanie zadań montażowych,
 - określenie grafu następstwa zadań montażowych.
- Koncepcyjne projektowanie procesów technologicznych obróbki części składowych wyrobu wytwarzanych w przedsiębiorstwie, realizowane współbieżnie przez członków zespołu projektowego obejmuje:
 - określenie możliwych do zastosowania typów półfabrykatów,
 - określenie dla każdego typu półfabrykatu, metod technologicznych prowadzących do przekształcenia półfabrykatu w gotowy element składowy wyrobu.



Rys. 6. Podproces koncepcyjnego projektowania technologicznego

Efektorem realizacji KPT jest zbiór wariantów realizacji procesu montażu i procesów obróbki części składowych wyrobu, które poddawane są analizie technologiczności ze względu na

montaż i wytwarzanie. Wynikiem analizy DFA jest szacunkowy czas i koszt montażu oraz index DFA trudności montażowych. Efektem analiz DFM są szacunkowe koszty wytwarzania opracowanych wariantów procesów obróbki.

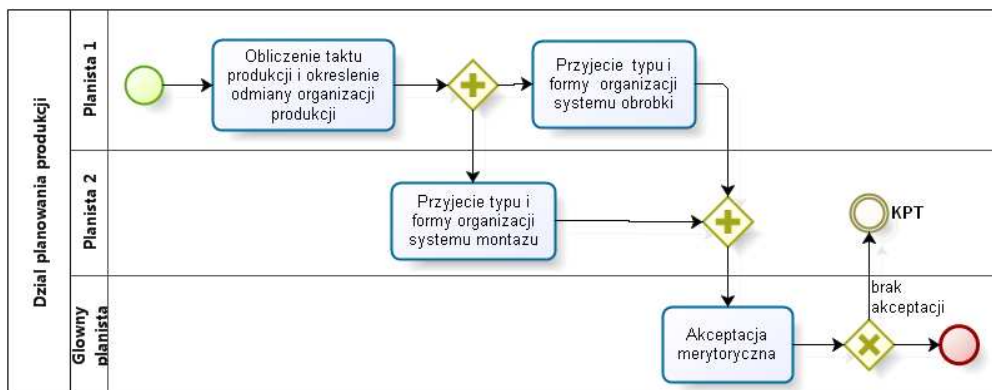
Wyniki analiz są podstawą do wypracowania decyzji dotyczącej uproszczenia wyrobu. Na tym etapie mogą być stosowane inne analizy: DFS (Design for Service), DFE (Design for Environment), DFR (Design for Reliability), itp., które realizowane w trybie sprzężeń zwrotnych służą ocenie proponowanych rozwiązań konstrukcyjnych wyrobu i wyboru koncepcji procesu technologicznego obróbki i montażu w formie schematów działań technologicznych. Uzyskanie zadawalających wskaźników technologiczności, niezawodności wyrobu jest warunkiem przejścia wyrobu do fazy przygotowania prototypu i opracowania koncepcji systemu wytwarzania.

5.3. Podproces koncepcyjnego projektowania organizacyjnego (KPO)

Podstawą realizacji podprocesu koncepcyjnego projektowania organizacyjnego są określone we wcześniejszych fazach cyklu rozwoju wyrobu dane opisujące: program produkcyjny asortymentu wyrobów, ustalone schematy oraz oszacowane czasy trwania działań technologicznych. Zasadniczym celem fazy koncepcyjnego projektowania organizacyjnego jest opracowanie projektu koncepcyjnego systemu wytwarzania. Działania projektowe obejmują (Rys. 7.):

- obliczenie taktu produkcji, jaki winien zostać osiągnięty z projektowanego systemu dla założonych danych planistycznych, wymaganej wielkości produkcji i dopuszczalnego czasu produkcji,
- przyjęcie odmiany organizacji produkcji, tj. typu i formy organizacji produkcji,
- przyjęcie liczby i rodzaju podsystemów funkcjonalnych; obróbki montażu, transportu, magazynowania, kontroli.

Efektem powyższych działań jest projekt koncepcyjny systemu wytwarzania, który umożliwi realizację fazy szczegółowego projektowania technologicznego.



Rys. 7. Podproces koncepcyjnego projektowania organizacyjnego.

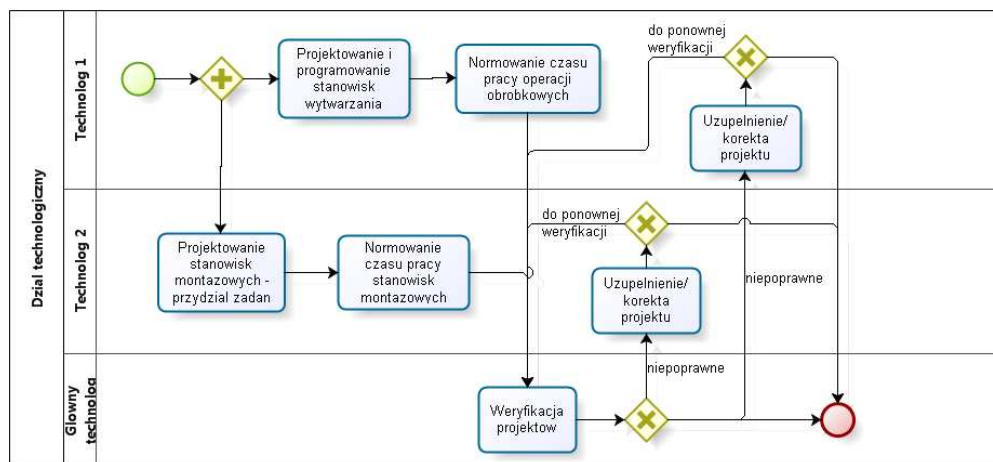
5.4. Podproces szczegółowego projektowania konstrukcyjnego (SPK)

Opracowana w kolejnych iteracjach, stymulowanych prowadzonymi analizami i wnioskami z badań prototypu, postać konstrukcyjna wyrobu umożliwia przeprowadzenie procesu (SPK), którego efektem jest pełna dokumentacja konstrukcyjna wyrobu, zawierająca rysunki 2D i modele 3D zarówno części składowych wyrobu, jak i podzwozeń oraz zwozeń, w zależności od stopnia skomplikowania produktów.

5.5. Podproces szczegółowego projektowania technologicznego (SPT)

Podproces (SPT) ujmuje szereg działań projektowych prowadzących do uszczegóławiania struktury procesu technologicznego oraz opracowania kart instrukcyjnych operacji obróbki i montażu. W zakresie projektowania operacji procesu technologicznego obróbki i montażu obejmuje (Rys. 8.):

- dobór i projektowanie urządzeń technologicznych i wyposażenia przedmiotowego oraz narzędziowego stanowisk,
- określenie struktury operacji i parametrów technologicznych zabiegów,
- opracowanie programów sterujących dla operacji realizowanych na urządzeniach programowalnych.



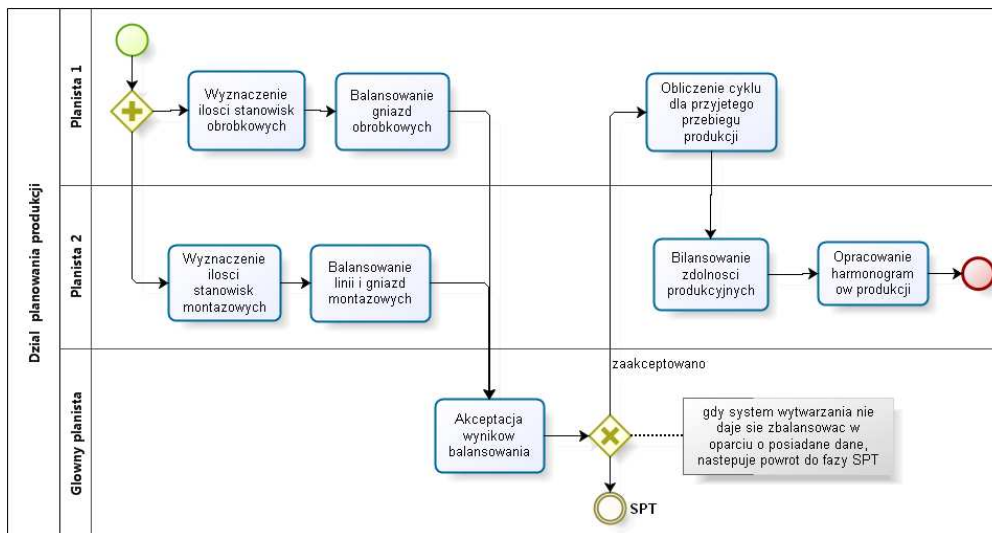
Rys. 8. Podproces szczegółowego projektowania technologicznego.

5.6. Podproces szczegółowego projektowania organizacyjnego (SPO)

Opracowana dokumentacja procesów technologicznych oraz projekt koncepcyjny systemu wytwarzania jest podstawą realizacji podprocesu SPO (Rys. 9.). obejmującego między innymi takie działania, jak:

- projektowanie rozmieszczenia przestrzennego elementów systemu wytwarzania w formie gniazd i linii produkcyjnych,
- analizy czasowe, z wyznaczeniem składników normy czasu dla operacji,
- analizy ergonomii stanowisk pracy,
- balansowanie systemu wytwarzania.

Efektom szczegółowego projektowania organizacyjnego jest symulacyjny model cyfrowy systemu wytwarzania wiążący modele cyfrowe komponentów systemu z procesem montażu, ujętym w bibliotece i harmonogramie procesu. W kolejnych testach przeprowadzanych na modelu symulacyjnym następuje badanie i doskonalenie projektowanego systemu.



Rys. 9. Podproces szczegółowego projektowania organizacyjnego.

Przedstawiony zakres rozwoju wyrobu opisany w notacji BPMN daje postawę do budowy oprogramowania do zarządzania rozwojem wyrobu w środowisku rozproszonym. Obecnie dostępne oprogramowanie do modelowania wykorzystujące notację BPMN posiada moduły, dzięki którym możliwe jest automatyczne tworzenie diagramów przepływu pracy, które z kolei stanowią podstawę funkcjonowania aplikacji wspomagających zarządzanie rozwojem wyrobu oraz zarządzanie danymi dotyczącymi produktu.

7. Wnioski

Zarządzanie cyklem życia wyrobu jest strategicznym podejściem do tworzenia i zarządzania kapitałem intelektualnym związanym z cyklem życia wyrobu umożliwiającym realizację strategii rozwojowych CE, CEE. Prace badawcze prowadzące do osiągnięcia wyższego poziomu integracji i automatyzacji konstrukcyjnego, technologicznego i organizacyjnego

przygotowania produkcji są ukierunkowane na budowę zintegrowanego systemu pozwalającego na realizację dynamicznego rozwoju wyrobu w środowisku rozproszonym z mechanizmami gromadzenia i wykorzystywania zdobywanej w wyniku doświadczeń i specjalistycznej wiedzy. W realizacji strategii CEE uczestniczą jednostki organizacyjne kooperujące nad rozwojem wyrobów przedsiębiorstw. Należy więc wyodrębnić role biznesowe i zamodelować wymianę informacji pomiędzy współpracującymi jednostkami. System taki powinien pozwalać na twórcze kształtowanie kolejnych wersji wyrobów, procesów oraz systemów wytwarzania oraz ich weryfikacji i oceny stymulując kierunki rozwoju stosownie do zmieniających się w czasie warunków rynkowych. Prace w tym kierunku będą kontynuowane.

Literatura

1. Adam O., Hofer A., Zang S., Hammewr C., Jerrentrup M., Leinebach S.: A Collaboration Freamework For Cross-Enterprice Buisness Process Management.
http://interop-esa05.unige.ch/INTEROP/Proceedings/Industrial/IND1_Adam.pdf.
2. Biernacki P.: Dlaczego BPMN? – Podstawy modelowania. Konf. Production Engineering, Politechnika Wroclawska, Wroclaw 2006.
3. Chlebus E.: Procesowo zorientowany rozwój produktu i procesów w środowisku narzędzi IT. Konf. Automatyzacja Produkcji. Prace Naukowe ITMiAP Politechniki Wroclawskiej. Wroclaw 2003.
4. Duda J.: Wspomagane komputerowo generowanie procesów wytwarzania – obecny stan i perspektywy rozwoju. III Forum Integracyjne Polskiego Stowarzyszenia Upowszechniania Komputerowych Systemów Inżynierskich Proca, Jedlnia 2004.
5. Kaczmarczyk A.: Zastosowanie metod IDEF do modelowania e – biznesu. Stan obecny. Techniki komputerowe – Biuletyn informacyjny. Warszawa 2005.
6. Kahlert T.: From a workgroup tool to an enterprice-wide strategy first int. Conf. Virtual Design and Automation, Poznań 2004.
7. <http://www.bizagi.com>.

Dr hab. inż. Jan DUDA, prof. PK
Mgr inż. Adrian STADNICKI
Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji Produkcji
Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny
31-864 Kraków, al. Jana Pawła II 37
e-mail: duda@mech.pk.edu.pl
adrianstadnicki@gmail.com