

Stanisław Strzelczak  
Politechnika Warszawska

## MODELOWANIE SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH PRZY ZASTOSOWANIU PAKIETÓW CASE

### APPLICATION OF CASE SYSTEMS TO MANUFACTURING SYSTEMS MODELLING

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМ АРП

**Streszczenie:** W pracy opisano znaczenie modelowania konceptualnego systemów produkcyjnych. Wskazano na wielorakie zastosowania takich modeli. Omówiono możliwości wykorzystania pakietów CASE jako narzędzi modelowania.

**Summary:** The significance of conceptual models of manufacturing systems has been characterized. These models can be applied for various purposes during the planning process. The possibilities of application of the CASE systems as modelling tools have been described.

**Резюме:** Рассмотрено значение концептуального моделирования производственных систем. Указаны многие применения таких моделей в проектировании производственных систем. Охарактеризованы возможности применения систем АРП как средств моделирования.

#### 1. Wstęp

Na różnych etapach projektowania systemów produkcyjnych pojawia się potrzeba ich opisu jako systemów działania. Innymi słowy zachodzi konieczność prezentacji ich budowy oraz realizowanych w nich procesów. Systemy produkcyjne są analizowane jako układy charakteryzujące się pewną strukturą zasobów (rodzaj, ilość, charakterystyki, rozmieszczenie i przepływy, struktury powiązań itd.) oraz procesów (stany, zdarzenia, czynności, zależności logiczne i czasowe pomiędzy nimi, itd.). Opracowuje się zatem modele systemów produkcyjnych, których podstawowymi celami są:

- ułatwienie prezentacji systemu przyszłym użytkownikom (do uzgodnień, szkoleń) oraz projektantom,
- zapewnienie spójności cząstkowych rozwiązań projektowych (poprzez normalizację dokumentacji projektowej i łatwiejszą komunikację pomiędzy różnymi zespołami / projektantami),
- rozszerzenie możliwości analiz i ocen różnych wariantów rozwiązań projektowych oraz umożliwienie zastosowania wspomagania komputerowego różnych kroków projektowania.

Dla wymienionych powyżej celów wykorzystuje się zarówno modele normatywne, które opisują lub dokumentują budowę systemu produkcyjnego, jak i modele wyjaśniające, które odzwierciedlają sposób jego funkcjonowania. Mogą się one charakteryzować różnymi stopniami uproszczenia oraz różnymi formami prezentacji. Na jednym biegunie można postawić proste modele animacyjne, ilustrujące przebieg realizowanych procesów produkcji, na drugim zaś szczegółowe modele formalne opracowywane dla potrzeb przygotowywania oprogramowania czasu rzeczywistego, wykorzystywanego do sterowania pracą urządzeń NC.

Praca jest poświęcona możliwościom wykorzystania stosunkowo nowego podejścia do modelowania systemów produkcyjnych, tj. modelowania konceptualnego. Podejście to rozwinęto w ramach prac nad automatyzacją przygotowywania oprogramowania. Ma ono jednak szersze zastosowania. Jest odpowiednim narzędziem opisu formalnego systemów produkcyjnych, który może być wykorzystany dla wszystkich wymienionych powyżej potrzeb. Znaczenie tego podejścia jest tym większe, że jego praktyczne zastosowanie może się opierać na wykorzystaniu systemów CASE. Umożliwia to wykorzystanie jednego narzędzia modelowania do realizacji różnych celów projektowych, w szczególności związanych z opracowywaniem systemów informacyjnych zarządzania.

## 2. Modele konceptualne systemów produkcyjnych

Modele konceptualne systemów produkcyjnych należą do kategorii modeli formalnych jakościowych. W odróżnieniu od modeli formalnych ilościowych (matematycznych) oraz modeli symulacyjnych nie stosuje się w nich jako elementów składowych modeli zależności funkcyjnych. Jednakże większość współczesnych pakietów programowych wspomagających projektowanie systemów produkcyjnych, także opartych o symulację ilościową lub metody matematyczne, wykorzystuje jako narzędzia opisu systemów produkcyjnych elementy modeli jakościowych.

Modele konceptualne zaczynają odgrywać podstawową rolę jako narzędzia projektowania, zwłaszcza zintegrowanych komputerowo systemów produkcyjnych. Przede wszystkim stwierdzenie to dotyczy pierwszych etapów projektowania oprogramowania systemów informatycznych zarządzania produkcją. Najczęściej w budowie modeli konceptualnych stosuje się takie elementy, jak:

- 1) Modele struktur systemów: hierarchii, składu, rozmieszczenia przestrzennego.
- 2) Modele procesów/czynności: powiązań (następstwa logicznego, czasowego), zależności stanów oraz czynności, przepływów.
- 3) Modele wyboru (decyzyjne).
- 4) Modele zasobów: danych i ich zbiorów, wyrobów, wyposażenia produkcyjnego.
- 5) Inne modele relacji między zasobami lub procesami ESP.

W praktyce do modelowania konceptualnego systemów produkcyjnych wykorzystuje się najczęściej narzędzia opracowane wcześniej, w toku realizacji prac rozwojowych, które nie były bezpośrednio związane z wdrażaniem nowych systemów produkcyjnych. Koncentrowały się one wokół dwóch kierunków:

- 1) Automatyzacji projektowania systemów informatycznych, której najnowocześniejszym narzędziem są niektóre pakiety programowe CASE (komputerowo wspomaganą inżynierię oprogramowania). Prace w tym zakresie były początkowo ukierunkowane na stworzenie modeli opisu systemów informatycznych, które umożliwiałyby automatyczne generowanie oprogramowania. Niepowodzenia w realizacji tego celu oraz rozwój języków programowania przyczyniły się do zmiany orientacji prac na opracowanie zbioru modeli systemów informatycznych oraz opartych na nich pakietów programowych, które mogłyby być wykorzystywane do wspomagania projektowania systemów informatycznych. Modele takie, o różnym stopniu szczegółowości, byłyby wykorzystywane we wszystkich etapach projektowania systemów informatycznych poprzedzających wykonanie (jeśli możliwe automatyczne wygenerowanie) oprogramowania.
- 2) Dokumentowania systemów działania - organizacyjnych i technicznych, przede wszystkim w związku z ich projektowaniem (tzw. modele SADT - Structured Analysis and Design Techniques i pochodne). Prace takie podjęto najwcześniej w siłach zbrojnych niektórych krajów (USA, Wielka Brytania) w związku z wymogami, jakie stawiało stosowanie nowoczesnych, zautomatyzowanych systemów dowodzenia i systemów produkujących uzbrojenie.

## 3. Modele SADT

Pojęcie metod analiz i projektowania struktur systemów - SADT (Structured Analysis & Design Techniques) zostało wprowadzone po raz pierwszy przez szefa i założyciela firmy SofTech - Douglasa T. Rossa. Rozumiał on w ten sposób zespół metodologii oraz środków modelowania systemów informatycznych (przede wszystkim różnorodnych schematów i diagramów), wykorzystywanych w ich projektowaniu, dokumentowaniu, zwłaszcza jako podstawa przygotowywania oprogramowania.

W miarę upływu czasu dostrzeżono możliwości, jakie stwarzają SADT dla potrzeb analizowania, modelowania i projektowania systemów produkcyjnych. i to zarówno dla procesów materialnych, jak i informacyjno-decyzyjnych. SADT umożliwiają m.in.:

- opisywanie struktur hierarchicznych systemów (podziałów na podsystemy) i składu systemów,
- opisywanie procesów: struktur, zależności, następstwa, zmian stanów systemu,
- opisywanie danych: struktur, przepływu, dokumentów.

Podstawowe założenia metodyczne SADT można sformułować w formie następujących sześciu zasad opracowywania modeli:

- 1) Zastosowanie podejścia systemowego w projektowaniu.
- 2) Budowa i funkcjonowanie systemów mogą być najdogodniej opisane lub wyjaśnione za pomocą modeli abstrakcyjnych.
- 3) Analiza i budowa modeli postępuje od ogółów do szczegółów (podejście top-down), z uwzględnieniem modularyzacji, hierarchizacji i strukturalizacji.
- 4) Wszystkie analizy i decyzje projektowe są dokumentowane w jednolity sposób i w takiej formie udostępniane wszystkim projektantom.
- 5) Modele systemów składają się z diagramów, reprezentujących zarówno obiekty jak i procesy, słowniki pojęć oraz opisów tekstowych.
- 6) Szczegółowość modeli jest różnicowana stosownie do potrzeb.

Celem modeli SADT jest odzwierciedlenie perspektyw informacyjnej i czynnościowej systemów działania. Jednak nie opisują one takich aspektów, jak: kompetencje, opóźnienia czasowe, przemieszczanie zasobów.

Modele graficzne SADT budowane są z typowych elementów składowych: węzłów i luków. Węzły mogą opisywać dane lub czynności (funkcje). W zależności od tego budowany model jest modelem informacyjnym lub modelem czynności. W każdy węzeł wpisywana jest nazwa i/lub krótki opis czynności lub danych oraz identyfikator (kod). Kompletny opis - model systemu składa się z zestawu modeli cząstkowych. Każdy z nich jest schematem graficznym obejmującym kilka (3-6) węzłów. Poszczególne węzły można opisywać bardziej szczegółowo, za pomocą odrębnych schematów, zgodnie z zasadą dekompozycji (rys. 1). Oznacza to, że otoczenie węzła rozumiane jako zbiór wchodzących i wychodzących luków (wejścia, wyjścia, sterowania, itd.) jest identyczne na schemacie dekomponującym dany węzeł.

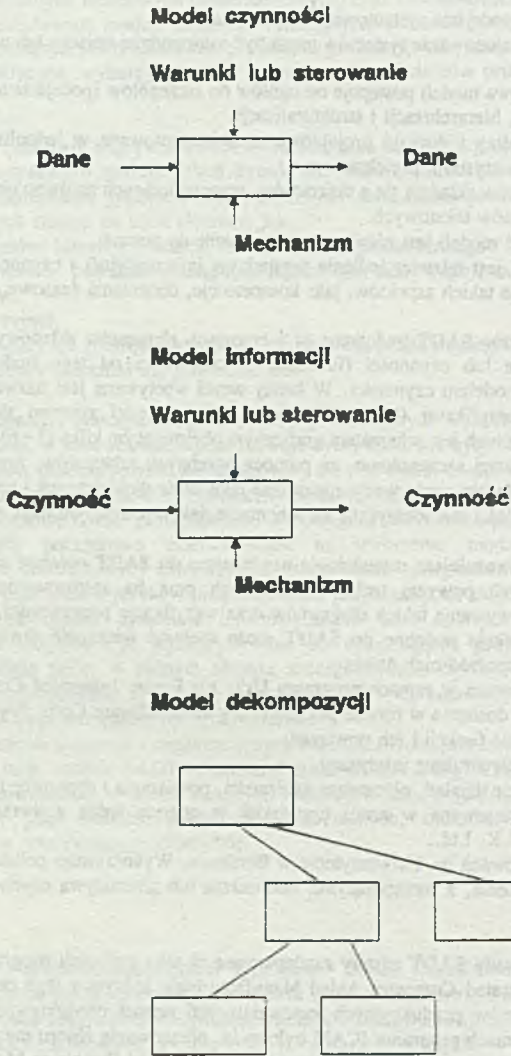
Wszystkie najważniejsze metodologie nawiązujące do SADT opierają się na stosowaniu niektórych, spośród wymienionych powyżej, technik graficznych oraz na zastosowaniu pakietów oprogramowania ułatwiających opracowywanie takich diagramów oraz weryfikację poprawności, przede wszystkim spójności różnych modeli. Funkcje podobne do SADT może spełniać większość dostępnych pakietów CASE. Do najbardziej znanych spośród nich należą:

- 1) IDEF, opracowana w ramach programu U.S. Air Force: Integrated Computer Aided Manufacturing (ICAM). Jest dostępna w formie pakietu firmy MetaSoftware Corp. Wykorzystuje trzy typy modeli:
  - IDEF<sub>0</sub> - modele funkcji i ich powiązań,
  - IDEF<sub>1</sub> - modele struktur informacji,
  - IDEF<sub>2</sub> - modele działań, obrazujące zależności, powiązania i dynamikę funkcji, informacji i zasobów.
- 2) SSADM, zastosowana w armii brytyjskiej w oparciu jedną z wersji pakietu Excelerator firmy Excelerator U.K. Ltd..
- 3) GRAI, opracowana na Uniwersytecie w Bordeaux. Wykorzystuje podstawowy model czynności oraz modele gałęzienia, z następującymi: koniunkcją lub alternatywą czynności (sterowana przez tablice decyzyjną).

Podstawy metody SADT zostały zaadaptowane w toku realizacji programu Sił Powietrznych USA o nazwie ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing). Jednym z jego celów było opracowanie metod projektowania systemów produkcyjnych zapewniających wzrost produktywności w przemyśle lotniczym. Wynikiem prac w ramach programu ICAM było m.in. opracowanie zbioru metod służących do modelowania systemów produkcyjnych, wymienionych powyżej IDEF (ICAM Definition Method).

IDEF opiera się na czterech podstawowych założeniach:

- 1) Identyfikacja systemu produkcyjnego następuje poprzez stworzenie modelu, który w formie graficznej przedstawia obiekty (informacje, materiały) i czynności (wykonywane przez ludzi lub urządzenia).
- 2) Niezbędne jest wyróżnienie funkcji, które mają być wykonywane przez system produkcyjny oraz wskazanie jak ma on być zbudowany, by możliwa była realizacja funkcji.
- 3) Model systemu produkcyjnego tworzy strukturę hierarchiczną. Główne funkcje są opisane na szczycie hierarchii modelu, zaś modele kolejnych poziomów ujawniają szczegóły. Każdy model powinien być wewnętrznie spójny i zgodny istniejącą lub antycypowaną rzeczywistością.



Rys.1. Elementy składowe modeli SADT  
 Fig.1. Typical building blocks for SADT models

- 4) Wszystkie decyzje projektowe powinny być dokumentowane, zaś projekt systemu systematycznie (cyklicznie) weryfikowany w celu ujawnienia ewentualnych błędów.

W podejściu IDEF zwraca się uwagę na to, że każdy model jest tworzony z określonej perspektywy i pod określonym kątem. Dlatego zaleca się każdorazowe wskazanie trzech aspektów modelu:

- wyodrębnienia (ang. context), czyli zakresu tematycznego (dziedziny) modelu, określanego przez opis jego powiązań z otoczeniem,
- punktu widzenia (ang. viewpoint), z którego opisuje się model i który określa znaczenie różnych jego właściwości,
- celów (ang. purpose), czyli powodów lub przyczyn, dla których tworzy się model i które przesadzają o jego rozmiarach, strukturze i dokładności.

Aby umożliwić prezentację wszystkich aspektów systemów produkcyjnych w metodzie IDEF stosuje się trzy typy modeli. Przedstawiają one w formie graficznej funkcjonowanie systemu produkcyjnego. Oznaczone są symbolami IDEF<sub>0</sub>, IDEF<sub>1</sub> i IDEF<sub>2</sub>. Modele IDEF<sub>0</sub> opisują w sposób strukturalizowany funkcje i czynności systemu produkcyjnego oraz relacje pomiędzy nimi (powiązania, zależności, następstwa). Modele IDEF<sub>1</sub> są modelami informacyjnymi. Obrazują strukturę i przepływ informacji potrzebnych do realizacji funkcji systemu produkcyjnego, w tym wymianę informacyjną z otoczeniem. Modele IDEF<sub>2</sub> odzwierciedlają dynamikę procesów zachodzących w systemie produkcyjnym. Ukazują zmiany w czasie i zależności czasowe funkcji, informacji i zasobów systemu produkcyjnego.

Modele IDEF<sub>0</sub> są modelami opisowymi, wykorzystującymi wszystkie narzędzia i reguły SADT z wyjątkiem modeli danych. Budowa modelu IDEF<sub>0</sub> rozpoczyna się od schematu opisującego system jako całość. Zawiera on tylko jeden węzeł, reprezentujący główną funkcję systemu. Każdy węzeł może być rozwijany w kolejny schemat niższego stopnia.

Modele IDEF<sub>1</sub> wspomagają projektowanie obiegu informacji jako procesu współtowarzyszącego procesom materialnym realizowanym w systemie produkcyjnym. Jednym z podstawowych celów IDEF<sub>1</sub> ma być osiągnięcie wysokiego stopnia integracji systemu informacyjnego. Jest ona rozumiana jako zapewnienie dostępności aktualnych informacji przez wszystkie wymagające ich procesy lub elementy systemu produkcyjnego oraz wyeliminowanie zbędnej redundancji w zasobach informacyjnych systemu produkcyjnego. Modelowanie systemu informacyjnego jest warunkiem osiągnięcia tego celu.

Podstawowymi elementami modelu informacyjnego IDEF<sub>1</sub> są schematy i słownik danych. Schematy charakteryzują strukturę informacji i ich przepływów. Każda samodzielnie występująca jednostka informacji jest scharakteryzowana w słowniku danych za pomocą opisów (teksty) i indeksów. Opracowanie modelu IDEF<sub>1</sub> odbywa się w pięciu etapach:

- 1) Określenie wyodrębnienia, zakresu i celów modelu.
- 2) Określenie klas obiektów, które dają się ewidentnie wyodrębnić.
- 3) Określenie klas relacji, występujących między klasami obiektów.
- 4) Określenie klas indeksów dla każdej klasy obiektów oraz określenie klasy atrybutów używanych w każdej klasie indeksów.
- 5) Identyfikacja i definiowanie klas atrybutów, przypisanych do pewnych klas obiektów.

Schematy IDEF<sub>1</sub> były początkowo stosowane jedynie do opisu wymagań informacyjnych w funkcjonowaniu systemu produkcyjnego. W związku z upowszechnieniem technologii relacyjnych baz danych opracowano rozszerzoną wersję IDEF<sub>1</sub> - IDEF<sub>1X</sub>. Umożliwia ona projektowanie struktur logicznych relacyjnych baz danych.

Modele IDEF<sub>2</sub>, w odróżnieniu od IDEF<sub>0</sub> i IDEF<sub>1</sub>, mają charakter dynamiczny. Opisują zmiany zachodzące w systemie produkcyjnym w czasie. Ich budowie mogą przyświecać następujące cele:

- wyjaśnienie budowy i mechanizmów funkcjonowania systemu produkcyjnego - dla potrzeb uzgodnień, komunikacji lub dokumentowania w toku projektowania systemu produkcyjnego,
- oceny charakterystyk istniejącego lub projektowanego systemu produkcyjnego.

Model IDEF<sub>2</sub> systemu produkcyjnego obejmuje cztery modele składowe:

- 1) Model struktury systemu produkcyjnego (ang. facility submodel), opisujący elementy systemu produkcyjnego, ich położenie i powiązania.
- 2) Model transformacji (ang. entity sub-model), opisujący przepływy i przekształcenia materiałów oraz informacji.
- 3) Model dyspozycji zasobów (ang. resource disposition tree sub-model), opisujący jakie zasoby są wymagane do realizacji poszczególnych operacji systemu produkcyjnego.
- 4) Model sterowania (ang. system control sub-model), opisujący następstwa stanów i czynności w systemie produkcyjnym.

Metoda IDEF może być stosowana przy wykorzystaniu pakietów programowych, automatyzujących wiele czynności związanych z tworzeniem modeli IDEF. Typowe funkcje takich pakietów obejmują:

- budowę modeli graficznych IDEF (tworzenie węzłów i luków, identyfikowanie, nazywanie),
- utrzymywanie słownika nazw (danych),
- definiowanie i modyfikowanie hierarchii modeli IDEF, dekomponowanie i łączenie, analizę syntaktyczną,
- przygotowywanie dokumentacji, raportowanie,
- przygotowywanie opisów modeli systemu produkcyjnego zgodnie z formatami wymaganymi przez pakiety symulacyjne.

Możliwości modelowania SADT są szczególnie istotne w odniesieniu do systemów zintegrowanych komputerowo. SADT mogą bowiem ułatwiać:

- identyfikację,
- korzystną strukturalizację systemów,
- tworzenie dokumentacji, co przyczynia się m.in. do skrócenia cyklu projektowych i obniżki kosztów,
- wprowadzanie modyfikacji w systemach eksploatowanych,
- lepszą koordynację, unikanie błędów w projektowaniu, zwłaszcza dzięki eliminowaniu niespójności rozwiązań cząstkowych,
- uzgodnienia z wykonawcami systemów i przyszłymi użytkownikami,
- standardyzację rozwiązań (m.in. w zakresie przepływu danych).

Znaczenie SADT jest tym większe, że stwarzają one możliwość automatyzacji i integracji dalszych faz projektowania systemów. Może to dotyczyć:

- automatycznego przygotowywania modeli symulacyjnych systemów, zarówno ilościowych jak i jakościowych (np. w oparciu o sieci Petri lub Grafset),
- automatycznej specyfikacji struktur danych,
- automatycznego administrowania dokumentacją,
- automatycznego generowania programów, w tym czasu rzeczywistego,
- automatycznego odpluskwiania oprogramowania.

Podstawą takich działań jest stosowanie SADT jako narzędzia wspomagania komputerowego projektowania, tj. w formie odpowiednich pakietów programowych.

Potwierdzeniem znaczenia SADT jest powszechne stosowanie opartych na nich narzędzi przez firmy software'owe oraz organizacje szeroko stosujące systemy informatyczne (np. wojsko). Te ostatnie często wymuszają stosowanie określonych metodologii lub pakietów programowych, nadają im w ten sposób rangę standardów. Warto też zauważyć, że stosowanie metodologii SADT opartych o wspomaganie komputerowe było poprzedzone także wykorzystaniem konwencjonalnych - manualnych technik modelowania systemów. Przykładem zaawansowanej metody może być znana w Polsce metoda Buschartha, stosowana szeroko w byłej NRD w oparciu o normę TGL.

#### 4. Pakiety CASE jako narzędzie modelowania systemów produkcyjnych

Szczególnie dogodnym narzędziem analiz i projektowania struktur systemów wytwarzania, a w szczególności systemów CIM, wydają się być pakiety oprogramowania typu CASE. Umożliwiają one na ogół:

- modelowanie systemów: struktur hierarchii, funkcji, informacji i procesów,
- przygotowanie dokumentacji projektowej,
- zautomatyzowane przejście do kolejnych kroków projektowania, takich jak: automatyczne generowanie modeli symulacyjnych czy automatyczne generowanie oprogramowania.

Pakiety takie mogą na ogół współpracować z systemami zarządzania projektami, procesorami tekstów, arkuszami kalkulacyjnymi, systemami DeskTop Publishing itp.

Różne wersje CASE opierają się na wykorzystaniu podstawowych struktur modelowania, jakimi są: modele funkcji, modele danych i modele dekompozycji (podziału na podsystemy). Modele te mogą być prezentowane za pomocą różnorodnych typów diagramów, wykresów, schematów itp. technik. Do podstawowych należą:

- diagramy przepływu danych,
- schematy dekompozycji (struktur) czynności,
- schematy strukturalne,
- schematy HIPO,
- diagramy Warnier-a-Orr-a,
- diagramy Jacksona,
- schematy blokowe,
- pseudokody,
- schematy Nassi-Shneidermana,
- wyresy czynności,
- drzewa decyzyjne,
- tablice decyzyjne,
- diagramy struktur danych,
- diagramy "obiekt-relacja" (entity-relationship),
- diagramy nawigacji danych,
- schematy (HOS).

Właściwości pakietów typu CASE zilustrujemy krótko na przykładzie systemu Excelerator amerykańskiej firmy Index Technology, drugiego na świecie, jeśli chodzi o liczbę aplikacji. Pakiet może być stosowany także na komputerach osobistych. Pierwszą z funkcji systemu Excelerator jest możliwość definiowania tzw. propozycji systemu, czyli celów określonych np. przez użytkownika dla potrzeb projektu, a wykorzystywanych następnie przez projektantów systemu. Jest to model logiczny - definiuje co system będzie robił, a nie jak. Excelerator dysponuje też strukturami definiowania założeń projektowych.

Excelerator umożliwia tworzenie modeli informacyjnych, w tym opisujących przepływy i struktury danych, relacji między nimi oraz tworzenie konwencji nazewnictwa. Model informacji pozwala na rozpoczęcie następnej fazy konstrukcji systemu: definicji procesów. Wykorzystuje w tym celu: listy zdarzeń, diagramy transformacji, diagramy zmiany stanów oraz wektory przejścia.

Excelerator pomaga współpracować wszystkim projektantom systemu:

- analitycy budują modele danych, procesów i zdarzeń, a następnie przedstawiają je przyszłym użytkownikom,
- użytkownicy oceniają model we wczesnym etapie jego rozwoju, gdy łatwe jest wprowadzanie modyfikacji,
- administratorzy baz danych konstruują znormalizowane modele danych, które zapewniają elastyczność i efektywność systemu,
- programiści budują system w oparciu o dokładne specyfikacje, w ten sposób, że mogą one być włączone bezpośrednio do kodu systemu.

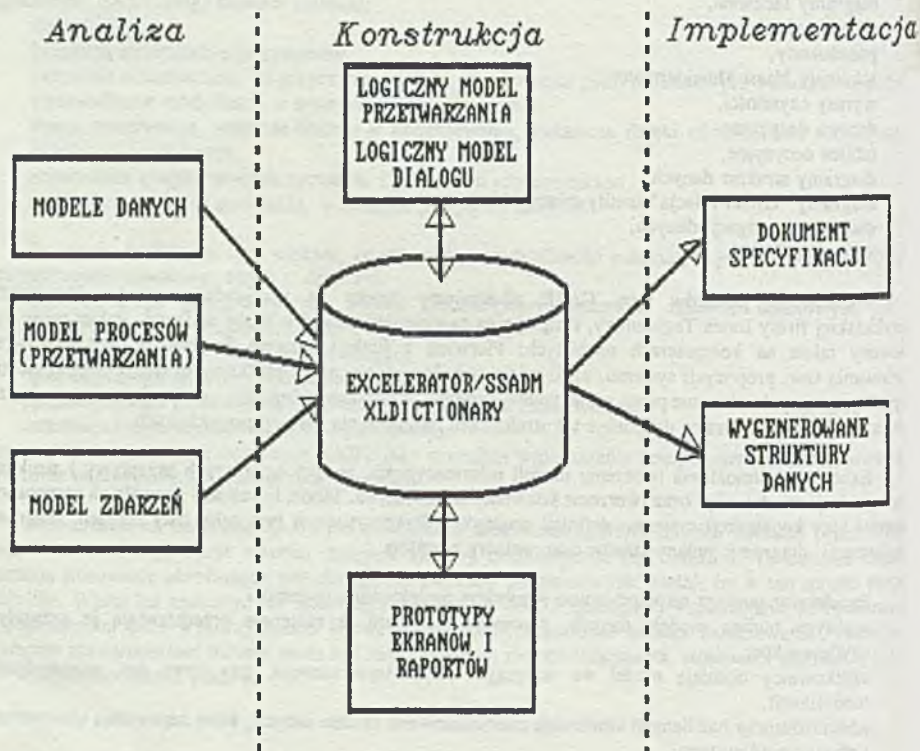
W celu zapewnienia jakości końcowego produktu Excelerator oferuje opcje analizy spójności i kompletności modeli systemu. Opcje te pomagają narzucić standardy w tworzonych projektach poprzez:

- stworzenie konwencji nazewnictwa,
- wyszukiwanie struktur z niepełnym zdefiniowaniem,
- wyszukiwanie wad struktur danych,
- zapewnienie spójnego używania danych na wszystkich poziomach diagramów.

Excelerator dysponuje strukturami danych umożliwiającymi kontrolę i sterowanie rozwojem projektu. Umożliwia on także rozdzielanie pracy pomiędzy kilku analityków, a następnie jej zintegrowanie. Grafy dokumentów tworzą piktograficzną reprezentację schematu dokumentów, które mają być wygenerowane. Cała informacja stworzona i zapisana w trakcie tworzenia projektu systemu może być przydatna przy modyfikacji systemu. Dodatkowo informacje ze starych projektów mogą być użyte podczas tworzenia nowych rozwiązań, co zwiększa produktywność i ułatwia stosowanie jednolitego podejścia.

Excelerator zakłada trzy fazy opracowywania projektów, które z kolei dzielą się na etapy:

- A) Faza Feasibility Study: etapy definicji i identyfikacji wariantów rozwiązań.
- B) Faza Analizy: etapy analizy operacyjnej systemu, szczegółowej specyfikacji wymagań oraz wyboru wariantu rozwiązania.
- C) Faza Projektowania: etapy projektowania danych, procesów i projektowania fizycznego.

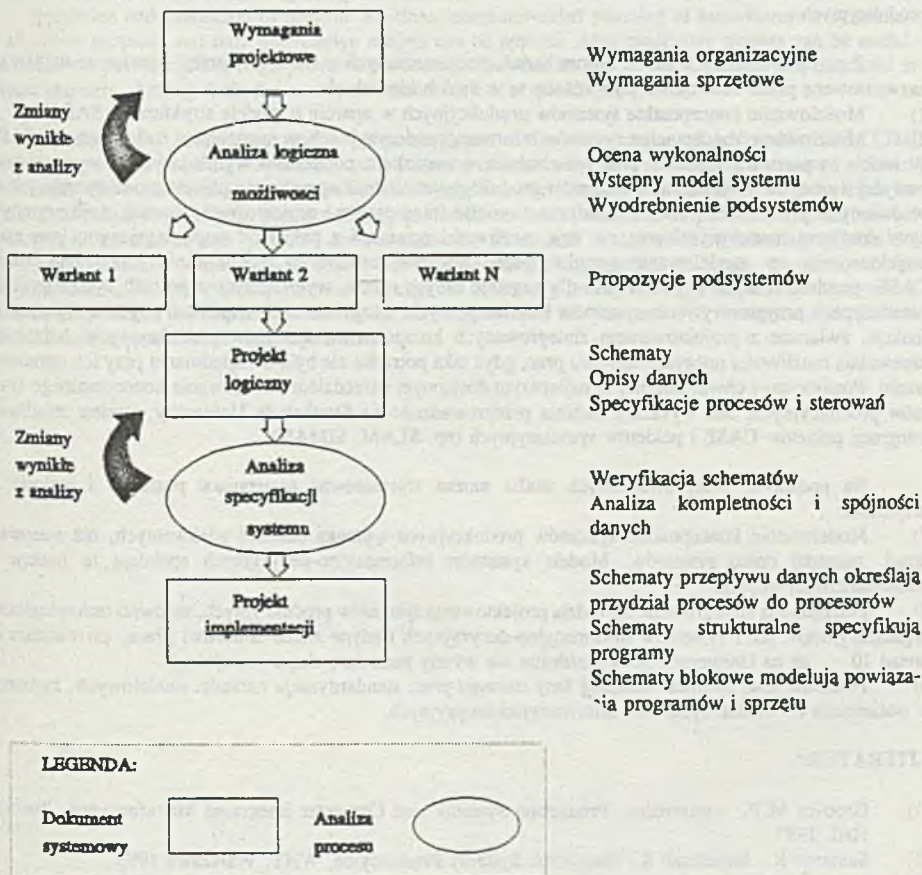


Rys. 2. Struktura funkcjonalna pakietu Excelerator  
Fig.2. An Overview of Excelerator/SSADM



Jedną z wersji Exceleratora - RTS umożliwia projektowanie i przygotowywanie oprogramowania systemów czasu rzeczywistego. Modelowanie systemu obejmuje trzy podstawowe aspekty: sterowanie procesami, przetwarzanie danych i komunikację. Stosuje się do tego metodę Ward-a-Mellor-a i notację De Marco. Ogólny schemat procesu projektowego przy zastosowaniu tego pakietu ilustruje rys.3. Excelerator RTS uwzględnia możliwość symulacji systemu przy zastosowaniu sieci Petri.

Excelerator może generować struktury danych i specyfikacje programowe dla języków COBOL, PL/1, C oraz innych języków programowania. Opcjonalnym rozszerzeniem Exceleratora jest moduł umożliwiający modelowanie struktur danych (m.in. definiowanie klas danych, modele relacyjne Entity-Relationship), ekranów, raportów oraz procedur dla relacyjnych baz danych (m.in. dla języka SQL) dla wielu środowisk baz danych.



Rys. 3. Struktura projektowania systemów czasu rzeczywistego za pomocą pakietu Excelerator RTS  
Fig. 3. Stages of real-time systems design supported by Excelerator

## 5. Wnioski końcowe

Na podstawie dotychczasowych prac studialnych, prowadzonych przez autora w czasie pobytu na Strathclyde University oraz w ramach prac własnych i zajęć dydaktycznych na Politechnice Warszawskiej można sformułować szereg wniosków, związanych z problematyką poruszoną w niniejszej pracy. Wdrażanie nowoczesnych - zautomatyzowanych i zintegrowanych komputerowo systemów produkcyjnych wymaga stosowania nowoczesnych narzędzi projektowych, wykorzystujących wspomaganie komputerowe. Proces projektowy musi uwzględniać nie tylko, jak to było w przypadku konwencjonalnych systemów produkcyjnych, procesy materialne realizowane w systemie produkcyjnym, ale także, a może nawet przede wszystkim, procesy informacyjno-decyzyjne. Przesłanki te, jak również konieczność nadzwyczaj starannego doboru kapitałochłonnego wyposażenia produkcyjnego, powodują konieczność zintegrowanego podejścia do projektowania systemów produkcyjnych.

Z przeprowadzonych przez autora badań, podsumowanych w niniejszej pracy, wynika, że najbardziej zaawansowane prace rozwojowe prowadzone są w dwóch kierunkach:

- 1) Modelowanie konceptualne systemów produkcyjnych w oparciu o modele strukturalne SADT itp.
- 2) Modelowanie konceptualne systemów informacyjno-decyzyjnych, w ramach prac nad systemami CASE. W istocie to pierwszy kierunek prac rozwinął się w związku z potrzebami wynikającymi z wymienionych powyżej wymogów projektowania systemów produkcyjnych. Jednak opracowane pakiety modelowania, jak np. omówiony w pracy IDEF, obejmują jedynie niewielki fragment prac projektowych, operują dość prymitywnymi środkami modelowymi oraz nie dają możliwości powiązań z pakietami wspomagającymi inne etapy projektowania, np. modelowania symulacyjnego. Zbliżone możliwości modelowania zapewniają pakiety CASE, pomimo iż zostały opracowane dla zupełnie innych celów, wynikających z potrzeb systematyzacji i automatyzacji przygotowywania systemów informacyjnych. Mogą one zatem spełniać obydwie wymienione funkcje, związane z projektowaniem zintegrowanych komputerowo systemów produkcyjnych. Jednak nie zapewniają możliwości integracji obydwu prac, gdyż taka potrzeba nie była uwzględniana przy ich opracowywaniu. Pomimo to w chwili obecnej są najlepszym dostępnym narzędziem modelowania konceptualnego systemów produkcyjnych. Jak wykazały badania przeprowadzone na Strathclyde University, istnieje możliwość integracji pakietów CASE i pakietów symulacyjnych (np. SLAM, SIMAN).

Na podstawie przeprowadzonych analiz można sformułować następujące postulaty i wnioski na przyszłość:

- 1) Modelowanie konceptualne systemów produkcyjnych wymaga bardziej adekwatnych, niż stosowane dotąd, narzędzi opisu systemów. Modele systemów informacyjno-decyzyjnych spełniają te funkcje w niedostatecznym stopniu.
- 2) Potrzebne są zintegrowane narzędzia projektowania systemów produkcyjnych, zarówno technologiczno-organizacyjnego, jak i systemów informacyjno-decyzyjnych (jedynie znane autorowi prace, prowadzone od ponad 10 lat na Uniwersytecie w Bordeaux nie wyszły poza fazę eksperymentalną).
- 3) Pożądana jest, pomimo wczesnej fazy rozwoju prac, standaryzacja narzędzi modelowych, zwłaszcza w odniesieniu do modeli systemów informacyjno-decyzyjnych.

## LITERATURA

- [1] Groover M.P.: Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, Prentice-Hall, 1987.
- [2] Santarek K., Strzelczak S.: Elastyczne Systemy Produkcyjne, WNT, Warszawa 1989.
- [3] Gottschalk E., Wirth S.: Bausteine der rechnerintegrierten Produktion, VEB Verlag Technik, 1989.
- [4] Jones V.C.: MAP/TOP Networking, McGraw-Hill 1987.
- [5] Martin J., McClure C.: Structured Techniques - The Basis for CASE, Prentice Hall 1988.
- [6] Mitchell F.H.: CIM Systems, Prentice Hall 1991.
- [7] Leigh W.E., Doherty M.E.: Decision Support and Expert Systems, South Western Publ.Co. 1986.

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 30.04.1992 r.

**Abstract:**

During almost all stages of manufacturing systems planning different aspects of their performance have to be evaluated. For these purposes separate models are being developed. Manufacturing systems are considered as complex structures of both: resources (characterized by types, quantities, layout, features, links, flows, etc.) and processes (characterized by states, events, relationships and lead-times).

Models of manufacturing systems can be applied for different purposes, like:

- presentations for future users (training, agreements),
  - coordination of planning activities and results,
  - standardisation of documentation and planning interfaces,
  - development of information systems and software,
  - simulation and evaluation of possible solutions, computer-aided planning of manufacturing systems.
- For all above purposes not only quantitative models can be applied. Also qualitative models can be useful, which describe how manufacturing systems are working. They can be less or more detailed and presented in different manners. Among them the conceptual models are of a special importance.

The conceptual models are usually being developed during early stages of advanced (FMS, CIM) manufacturing system planning. One of the underlying objectives is to prepare an input for automated software development. But other possible applications are also possible. The identical models can serve as an input for traditional simulation packages, hence enabling performance evaluation. The importance of such unified approach is based also on one practical circumstance: the conceptual models of manufacturing systems can be developed by means of some CASE (Computer-Aided Software Engineering) packages. It means, that the conceptual models can serve as the common language for different planning activities, especially these related to MIS development. They can be applied also for real-time systems development. All theoretical and practical aspects of such approach have been considered.