

AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA
W KRAKOWIE

WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA

Rozprawa doktorska pod tytułem:

Wspomaganie decyzji w procesach przygotowania produkcji z wykorzystaniem systemu ekspertowego

Autor: mgr inż. Dariusz SALA
Promotor: prof. dr hab. inż. Wiesław Waszkielewicz

Kraków, 2007 r.

SPIS TREŚCI ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

„Wspomaganie decyzji w procesach przygotowania produkcji z wykorzystaniem systemu ekspertowego"

WSTĘP **2**

1. WSPOMAGANIE PROCESU DECYZYJNEGO W PRZYGOTOWANIU PRODUKCJI
- **1.1. POJĘCIE I ISTOTA PROCESÓW PRZYGOTOWANIA PRODUKCII** **8**
- **1.2. PODEJMOWANIE DECYZJI W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI** **25**
- **1.3. NARZĘDZIA I METODY WSPOMAGANIA DECYZJI W PROCESIE PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI** **42**
- **1.4. INTELIGENTNE METODY WSPOMAGANIA PROCESU DECYZYJNEGO** **63**
- **1.5. GENEZA, BUDOWA I OBSZAR ZASTOSOWAŃ SYSTEMÓW EKSPERTOWYCH W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI** **85**

2. MODEL SYSTEMU EKSPERTOWEGO WSPOMAGANIA DECYZJI W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI
- **2.1. ETAPY BUDOWY MODELU SYSTEMU EKSPERTOWEGO** **107**
- **2.2. WYBÓR SPOSOBU KONSTRUOWANIA SYSTEMU EKSPERTOWEGO** **125**
- **2.3. ZAKRES FUNKCJONOWANIA SYSTEMU EKSPERTOWEGO** **134**
- **2.4. OPRACOWANIE SYSTEMU EKSPERTOWEGO DO WSPOMAGANIA DECYZJI W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI** **141**

3. OCENA WYKORZYSTANIA MODELU SYSTEMU EKSPERTOWEGO WSPOMAGANIA DECYZJI W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI
- **3.1. OKREŚLENIE WPŁYWU ZASTOSOWANIA SYSTEMU EKSPERTOWEGO NA PODEJMOWANIE DECYZJI W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI** **181**
- **3.2. SPRECYZOWANIE KIERUNKÓW ROZWOJU PRZYJĘTEGO ROZWIĄZANIA** **197**

PODSUMOWANIE I WNIOSKI **207**
LITERATURA **211**
SPIS RYSUNKÓW **217**
SPIS TABLIC **220**

WSTĘP

Małe i średnie przedsiębiorstwa, chcąc utrzymać się na rynku i zdobyć przewagę konkurencyjną, muszą sprawnie zarządzać swoją organizacją na każdym z zasadniczych poziomów, zarówno na poziomie strategicznym, jak i operacyjnym. Wielkie firmy zatrudniają rzeszę ekspertów i specjalistów, aby w każdej chwili odpowiednio reagować i właściwie podejmować decyzje.

W procesie podejmowania decyzji wykorzystują również skomplikowane zintegrowane systemy komputerowe, które nieustannie gromadzą dane i analizują podstawowe obszary funkcjonowania firmy. Budżety tych firm są na tyle duże, że są wstanie opłacać stałych ekspertów, a także zrealizować zakup specjalistycznego dedykowanego oprogramowania i pozwolić sobie na jego wielomiesięczne wdrażanie.

W sytuacji małych i średnich przedsiębiorstw środki, które można przeznaczyć na te cele, są dużo mniejsze, a i przedział czasu, w jakim należałoby zaimplementować systemy wspomagania decyzji, jest krótki. Dlatego małe i średnie firmy nie mają możliwości skorzystania z pomocy znanych i drogich ekspertów. Również zakup i użytkowanie rozbudowanego i skomplikowanego zintegrowanego oprogramowania do zarządzania, typu ERP czy programów CRM, mających poprawiać relacje z klientami, jest przeważnie finansowo niemożliwe. Tak więc szukają innych, alternatywnych rozwiązań, szczególnie w zakresie zarządzania operacyjnego, mających poprawić ich konkurencyjność w danym sektorze.

Wśród rozwiązań alternatywnych szczególnie godne polecania są systemy ekspertowe o hybrydowej architekturze, które dzięki kooperacji różnych przejawów sztucznej inteligencji z programami przetwarzania ilościowego, z powodzeniem mogą zastąpić nie tylko jednego lecz nawet kilku ekspertów.

To właśnie systemy ekspertowe są wstanie odwzorować oprócz czynników ilościowych wiele czynników o jakościowym i opisowym charakterze, których odwzorowanie modelami matematycznymi jest niemożliwe lub niezwykle utrudnione.

Ponadto są proste w zakupie i implementacji, a także tańsze niż rozbudowane systemy zarządzania typu ERP szczególnie gdy korzysta się z pakietów szkieletowych, wstępnie przygotowanych przez producenta a następnie dostosowywanych do wymagań przez pracowników danego przedsiębiorstwa.

Dodatkowym atutem inteligentnych systemów doradczych opartych na systemie ekspertowym o architekturze hybrydowej jest prostota użytkowania takiego systemu, sprowadzająca się do sesji pytań i odpowiedzi między programem komputerowym a użytkownikiem, podczas której system zbiera istotne informacje nie tylko od użytkownika, ale również z zewnętrznych źródeł jak bazy danych, arkusze kalkulacyjne czy programy statystyczne.

Sesje te można powtarzać dowolną ilość razy zmieniając na przykład wartości wejściowe systemu co pozwala na prześledzenie możliwych rozstrzygnięć i daje uniwersalne narzędzie o symulacyjnym charakterze.

Taki sposób wykorzystania systemów ekspertowych jest zgodny z najnowszymi trendami łączenia metod modelowo-symulacyjnych, w tym klasycznych metod numerycznych (ilościowych), z metodami jakościowej oceny rozwiązań.

Częste występowanie problemów decyzyjnych słabo lub całkowicie nieustrukturalizowanych utrudnia zastosowanie w zakresie dynamicznego wspomagania decyzji dotychczasowych standardowych programów wspomagania komputerowego. W związku z tym zastosowanie systemów ekspertowych wydaje się najlepszym rozwiązaniem z uwagi na jawną reprezentację wiedzy o problemie decyzyjnym zrozumiałą nawet dla użytkownika końcowego.

Na sukces w implementacji inteligentnych systemów doradczych bazujących na systemie ekspertowym o architekturze hybrydowej złożyć się mogą ponadto takie cechy, jak zdolność wyjaśniania własnych konkluzji, możliwość śledzenia drogi rozumowania a także przyrostowe budowanie i uaktualnianie bazy wiedzy. Ponadto gwarantują stabilny poziom decyzji niezależny od warunków zewnętrznych i czasu pracy systemu, co wydatnie zwiększa osiągalność i jakość ekspertyz. Tak zbudowany system doradczy z punktu wiedzenia dostępności oraz kosztów decyzji jest ergonomiczny w użytkowaniu oraz tani w działaniu.

Również możliwość rozwiązywania problemów specjalistycznych, o charakterze jakościowym, w których dużą rolę odgrywa doświadczenie, jest znaczącym walorem w sytuacji, w której wiedza ekspertów to dobro rzadkie i kosztowne, czasem nie w pełni dostępne dla małych i średnich przedsiębiorstw.

Mając do dyspozycji właściwie opracowane inteligentne systemy wspomagania decyzji, decydowanie w małych i średnich przedsiębiorstwach może przebiegać nie tylko w oparciu o intuicję, doświadczenie i rutynę pracowników, ale również w oparciu o naukowe podstawy, zależności niemożliwe do wychwycenia bez odpowiedniej analizy, a także oszacowania, których przygotowanie w tradycyjny sposób jest długotrwałe.

Wdrażanie inteligentnych systemów doradczych, szczególnie w obszarze zarządzania operacyjnego wpływa na szybkość i trafność w podejmowaniu decyzji, co może w przypadku małych i średnich firm być podstawą przewagi konkurencyjnej. W przedsiębiorstwie wytwórczym podejmowanie decyzji w zakresie procesów przygotowania produkcji stanowi zasadniczy i kluczowy element całego procesu wytwarzania. Sam moment podjęcia decyzji przez menedżera (decydenta) poprzedza wnikliwa analiza opierająca się na własnej wiedzy i doświadczeniu, a niekiedy intuicji oraz syntezie informacji dotyczących problemu decyzyjnego. Aby podjęta decyzja mogła być skuteczna i zapewniać między innymi przewagę konkurencyjną przedsiębiorstwa musi zapaść szybko i być właściwa, to znaczy oparta na prawdziwych przesłankach i z nich w sposób logiczny wynikać.

MOTYWY PODJĘCIA TEMATU

Jedną z tendencji we współczesnym wytwarzaniu jest koncepcja skrócenia czasu potrzebnego na przekształcenia pomysłu wyrobu w jego projekt, a także czasu związanego z przygotowaniem założeń produkcji tego wyrobu na zróżnicowany pod względem asortymentowym rynek.

Różnorodność produkcji oraz coraz krótsze cykle życia wyrobów przy jednoczesnym wzroście ich złożoności powodują, że przedsiębiorstwa zmuszone są do produkcji wyrobów w krótkich seriach, a nawet produkcji jednostkowej oraz ciągłego dopasowywania się do indywidualnych wymagań klientów. W konsekwencji następuje zwiększenie skali działania, co wymaga dużej elastyczności w planowaniu i przygotowywaniu produkcji oraz dużej elastyczności samego wytwarzania.

Efektywna organizacja przedsiębiorstwa, chcącego sprostać wspomnianym uwarunkowaniom powinna opierać się na inteligentnych systemach decyzyjnych. Takimi inteligentnymi systemami dającymi możliwość budowania kompleksowych systemów decyzyjnych są systemy ekspertowe, które można wykorzystać do wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji.

Przedmiotem niniejszej pracy jest określenie reguł i zasad podejmowania decyzji w procesach przygotowania produkcji w kontekście możliwości ich wspomagania z wykorzystaniem metod sztucznej inteligencji. Wstępnie przyjęte założenie określa, jako najbardziej odpowiednie, zastosowanie narzędzia wspomagającego w postaci systemu ekspertowego.

TEZA, CEL GŁÓWNY I CELE SZCZEGÓŁOWE PRACY DOKTORSKIEJ

Przyjęto następującą **tezę**:

Zastosowanie systemu ekspertowego o hybrydowej architekturze wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji upraszcza i skraca proces decyzyjny w tym zakresie.

Przy tak postawionej tezie **celem pracy** jest konstrukcja modelu systemu ekspertowego do wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji i weryfikacja jego funkcjonowania, a w szczególności:

- Wykazanie uzasadnionej potrzeby stworzenia systemu ekspertowego, wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji

- Zbadanie zakresu rozstrzygnięć decyzyjnych, występujących podczas przygotowywania produkcji

- Zaprojektowanie i implementacja systemu ekspertowego wspomagania decyzji w zakresie procesów przygotowania produkcji

- Wykazanie korzyści, płynących z posiadania narzędzia wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji

Dla zrealizowania tak sformułowanego celu przyjęto następującą **konstrukcję rozprawy**:

Pierwszy rozdział rozprawy doktorskiej jest częścią teoretyczną, w głównej mierze poświęconą ocenie stanu teorii i osiągnięć praktyki w kwestii wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji. Przedstawione są w niej podstawowe pojęcia i definicje, aktualne koncepcje, a także zidentyfikowane potrzeby w zakresie funkcjonalności narzędzi, mogących wspomagać decyzje w procesach przygotowania produkcji. Szczególna uwaga została zwrócona na te aspekty sztucznej inteligencji, które można wykorzystać w procesie decyzyjnym przygotowania produkcji.

W kolejnych podrozdziałach rozdziału pierwszego zawarte zostały informacje o systemach ekspertowych (ang. *SE*, *system expert*) – jednym z elementów sztucznej inteligencji, który można wykorzystać do wspomagania decyzji. Rozważania oparte o studium literaturowe oraz własne projekty i aplikacje autora prezentują obraz systemów ekspertowych, poczynając od historycznych początków po aktualne koncepcje i przyszłe trendy. Szczególny nacisk położony jest na wykorzystanie systemów ekspertowych w procesach przygotowania produkcji.

Część druga pracy doktorskiej, w skład której wchodzą dwa kolejne rozdziały, jest częścią praktyczną, obejmującą zagadnienia związane z konstrukcją modelu systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji, a także jego ocenę pod względem szybkości i przydatności wydawanych konkluzji.

W rozdziale drugim przedstawiono etapy budowy systemu ekspertowego oraz określono sposób opracowania modelu funkcjonalnego dla potrzeb wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji, a także sformułowano zakres jego rozstrzygnięć.

Zaprezentowane zostały założenia odnośnie wykorzystania szkieletowego systemu ekspertowego do budowy systemu wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji. Odpowiednio dobrana została metoda pozyskiwania wiedzy i sposób jej reprezentacji w bazie wiedzy systemu ekspertowego. Pokazano możliwości modelu we wspomaganiu decyzji, a także późniejsze konsultacje z jego użyciem.

W rozdziale trzecim podjęto próbę przygotowania kryteriów oceny konstrukcji systemów ekspertowych wspomagających decyzje oraz zasady oceny ich przydatności w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych. Zaproponowano mapę systemów ekspertowych jako opisowy sposób oceny możliwości tych systemów we wspomaganiu decyzji. Na podstawie zaproponowanych kryteriów oceniono stworzony model i naniesiono jego ocenę na mapę możliwości.

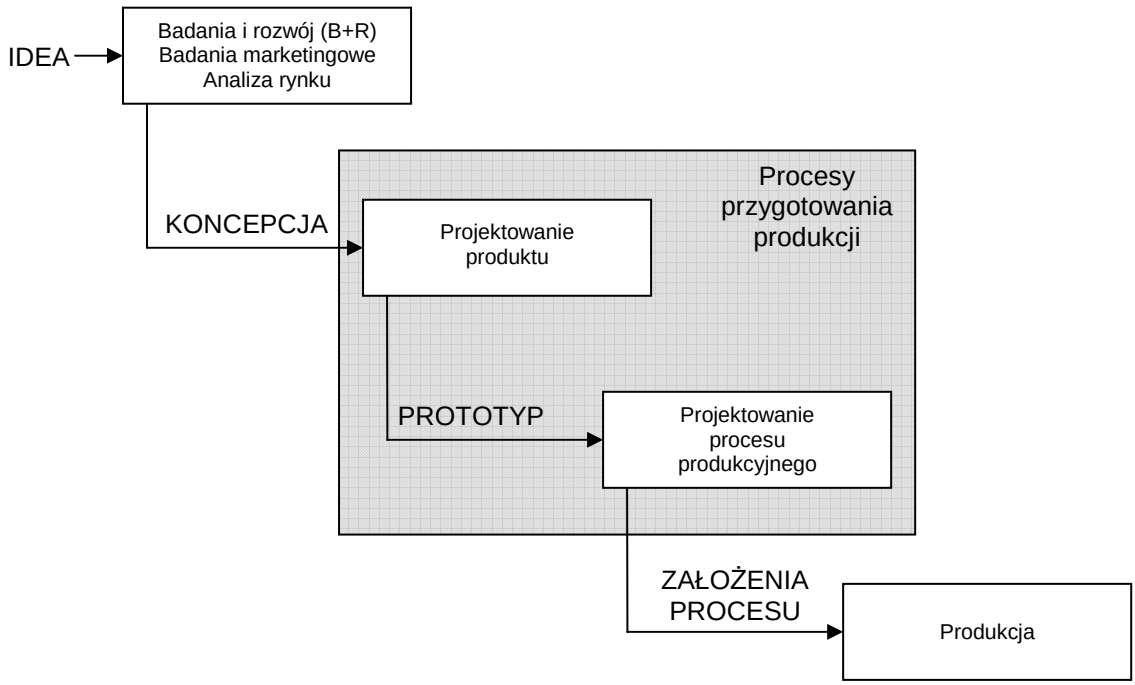
Oprócz oceny stworzonego modelu funkcjonalnego, sprecyzowane zostały również możliwe kierunki rozwoju przyjętego rozwiązania zgodnie z zapotrzebowaniem na poszerzoną funkcjonalność i zwiększoną wydajność.

1. WSPOMAGANIE PROCESU DECYZYJNEGO W PRZYGOTOWANIU PRODUKCJI

1.1. Pojęcie i istota procesów przygotowania produkcji

Procesy przygotowania produkcji to działania, będące elementem procesu powstawania nowego produktu, poprzedzające uruchomienie właściwej produkcji (Rys. 1.1). Jednak, aby można było mówić o produkcji nowego produktu, musi zaistnieć idea jego powstania. Najczęstszymi powodami powstania idei nowego produktu są:

- następujące na rynkach zbytu transformacje (zmiany upodobań klientów, potrzeba zaspokojenia ich nowych potrzeb, pojawienie się nowej grupy klientów),
- zmiany popytu na produkt (wahania wynikające z koniunktury, przejście produktu w ostatnią fazę życia),
- zmiany w produktach konkurencyjnych,
- zmiana technologii wytwarzania, wynikająca z postępu technicznego.



Rys. 1.1. Etapy powstawania nowego produktu

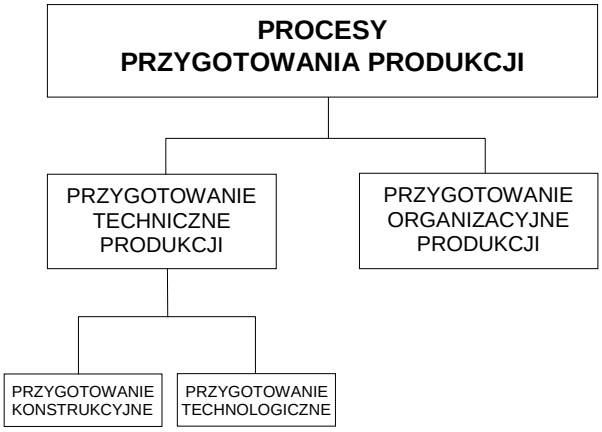
Źródło: Opracowanie własne

Powstanie idei nowego produktu zazwyczaj wspierają wewnętrzne badania przedsiębiorstwa, realizowane przez odpowiednie komórki, jak Dział Badań i Rozwoju (B+R), a także badania marketingowe oraz analizy rynku, wykonywane najczęściej przez firmy zewnętrzne lub przy współudziale tych firm. Następuje wstępna selekcja pomysłów, zmierzająca do pozostawienia jedynie tych wartościowych i konstruktywnych.

W kolejnym etapie, w wyniku rozpracowania techniczno-technologicznego wyłonionych pomysłów, następuje odrzucenie koncepcji, których realizacja nie jest możliwa przy aktualnym stanie wiedzy, możliwościach technicznych i organizacyjnych przedsiębiorstwa lub nieopłacalna z powodu wysokiego skomplikowania technologicznego. Ostatecznie w etapie tym zmierza się do konstrukcji prototypu, a następnie do jego testowania. W wyniku testów można poznać ewentualne wady przyszłego produktu, co pozwala na weryfikację założeń projektowych i po ich uwzględnieniu na opracowanie ostatecznej wersji produktu wraz z rysunkami technicznymi i opisem procedur wytwarzania.

Zadaniem ostatniego etapu, bezpośrednio poprzedzającego produkcję jest przygotowanie założeń procesu produkcyjnego w oparciu o ostateczny prototyp, wraz z przyjętymi założeniami konstrukcyjno-technologicznymi, a także uruchomienie serii próbnej. Seria próbna ma na celu sprawdzenie nowej lub zmienionej konstrukcji, technologii i oprzyrządowania w celu zapoznania załogi z nowym wyrobem i warunkami technicznym jego wykonania. Głównym zadaniem serii próbnej jest sprawdzenie przyjętych koncepcji konstrukcyjnych, technologicznych oraz organizacyjnych w warunkach pozostającego do dyspozycji wyposażenia produkcyjnego. Wielkość serii informacyjnej powinna umożliwiać sprawdzenie wszystkich założonych parametrów konstrukcyjnych, technologicznych i organizacyjnych. Wynikiem serii próbnej powinno być ujawnienie i usunięcie wszystkich wad, błędów, niezgodności w rysunkach konstrukcyjnych i procesach technologicznych, które można uzyskać jedynie przez próby kontrolne.

Procesy przygotowania produkcji podczas kolejnych etapów powstawania nowego produktu obejmują zarówno przygotowanie organizacyjne produkcji, jak i przygotowanie techniczne produkcji wraz z założeniami konstrukcyjno-technologicznymi (Rys. 1.2).



Rys. 1.2. Struktura procesów przygotowania produkcji

Źródło: Dudek M., Mazur G., Mazur Z., Obrzud J., *Projektowanie produktu*, [w:] Podobiński A. (red.), „Marketingowe czynniki rozwoju sprzedaży wyrobów przemysłowych", Wydawnictwo AGH, Kraków 2004, s. 29

a) Konstrukcyjne przygotowanie produkcji

Przez założenia konstrukcyjne wyrobu rozumie się zapis techniczny w formie rysunku, łącznie z charakterystykami i parametrami konstrukcyjnymi. Przygotowanie konstrukcyjne polega na sporządzeniu rysunków i określeniu warunków technicznych dla całego wyrobu, jego zespołów i części.

W procesie konstrukcyjnego przygotowania produkcji możliwe są dwa warianty działania:

- opracowanie konstrukcji do istniejącej technologii,
- opracowanie konstrukcji, a następnie opracowanie technologii do tej konstrukcji.

Najkorzystniejszym z punktu widzenia praktyki jest dostosowanie konstrukcji wyrobu do istniejącej technologii, a zatem narzucenie przez istniejące technologie rozwiązań konstrukcyjnych wyrobu.

Dominacja technologii nad konstrukcją pozwala na szybsze wdrożenie nowego lub zmodernizowanie istniejącego wyrobu[1].

Efektem konstrukcyjnego przygotowania produkcji ma być komplet dokumentacji zawierający pełny opis wyrobu. Rozróżnia się następujące podstawowe dokumenty[2]:

- rysunki wykonawcze wyrobu, zespołów,
- instrukcje montażu, odbioru, obsługi, konserwacji,
- opisy i katalogi wyrobów.

b) Technologiczne przygotowanie produkcji

Przygotowanie technologiczne ma za zadanie określenie technologii wytwarzania nowego wyrobu, a także opracowanie koncepcji procesu technologicznego. Technologia wyrobu to opis sposobu wytwarzania podający: co, z czego, przy zastosowaniu jakich operacji, w jakiej kolejności ma być realizowane. Opis ten zawiera również informację, na jakich stanowiskach realizować operacje i przy zastosowaniu jakich pomocy warsztatowych. Podaje również czasy trwania operacji. Technologię wyrobu zapisuje się w dokumencie, zwanym kartą technologiczną (Rys. 1.3).

Proces technologiczny to określony ciąg czynności, mających na celu zmiany kształtu, wymiarów, własności lub wyglądu przerabianego tworzywa. Elementami składowymi procesu technologicznego są operacje technologiczne. Proces zapisywany jest w formie zbioru uporządkowanych operacji technologicznych, zwanego marszrutą technologiczną.

---

[1] Ignaczak A., Kostka A., Ojrzeńska-Wójter D., *Organizacja prac badawczych i rozwojowych w przygotowaniu produkcji urządzeń telekomunikacyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995

[2] Jodełko Z., Marks B., *Dokumentacja techniczna w przedsiębiorstwie budowy maszyn*, WNT, Warszawa 1979

Wynikiem technologicznego przygotowania jest dokumentacja technologiczna (w formie kart technologicznych i konstrukcyjnych), zawierająca opis sposobu wytwarzania oraz normy czasu wykonania poszczególnych operacji technologicznych.

Kartę technologiczną uznaje się za podstawowy dokument w procesie produkcji i montażu. Karta technologiczna, określana również planem operacyjnym, jest dokumentem źródłowym dla planowania produkcji i sporządzania dokumentacji produkcyjnej. Karta technologiczna zawiera następujące dane:

- określenie wykonywanego przedmiotu,
- rodzaj, gatunek, ciężar materiału,
- plan operacji z podaniem zakresu prac dla poszczególnych czynności,
- stanowiska robocze do wykonania poszczególnych operacji,
- zestawienie potrzebnych pomocy warsztatowych,
- czasy jednostkowe operacji oraz czasy przygotowawczo zakończeniowe.

Karta technologiczna (plan operacyjny)		Wyrób	Nazwa części		Nr rys. części		Znak		
Gat. i stan mat.		Postać i wymiary półfabrykatu [mm]	Sztuk /wyrób		kg/1 szt. netto		Sztuk na zlecenie, partię		
			Norma mat. kg/ 1 szt.				Materiał kg /zlecenie, partię		
Nr op	Wydział / Stanowisko	Opis operacji	Pomoce warsztatowe				Kat.r / dod.	Tpz / tj	T
		Opracował:	Sprawdził:				Zatwierdził:		

Rys. 1.3. Przykładowa karta technologiczna

Źródło: Opracowanie własne

c) Organizacyjne przygotowanie produkcji

Organizacyjne przygotowanie produkcji polega głównie na opracowaniu planów uruchomienia produkcji, zestawieniu materiałów bezpośrednio produkcyjnych, ich zamówieniu, odbiorze, magazynowaniu oraz zapewnieniu systematyczności dostaw w przyszłości.

Z organizacyjnego punktu widzenia przebieg procesu produkcyjnego musi zapewniać terminowość realizacji zleceń i wykorzystywać posiadane zdolności produkcyjne. Tak więc samo planowanie produkcji, obejmujące procesy podstawowe i pomocnicze takie, jak: procesy technologiczne, transport wewnątrzzakładowy, logistykę, jak również kontrolę, musi być uzupełnione o harmonogram produkcji wraz z obciążeniem stanowisk technologicznych. Dla organizacyjnego przygotowania procesu wytwarzania podstawowym źródłem informacji jest przygotowanie technologiczne. Generalnie organizacyjne przygotowanie produkcji obejmuje[3]:

- wyposażenie przedsiębiorstwa w niezbędne środki pracy, przedmioty pracy i inne czynniki produkcji oraz odpowiednią organizację stanowisk pracy,
- uruchomienie systemu zleceń produkcyjnych (określających zadania produkcyjne): przedmiot zlecenia (rodzaj wyrobu i jego części składowej) oraz miejsce wykonania zlecenia (wydział, oddział, itp.),
- opracowanie dokumentacji produkcyjnej i jej obiegu w celu ujęcia zjawisk produkcyjnych i stworzenia podstaw liczbowych do ilościowego i wartościowego zaplanowania i kontroli produkcji),
- prowadzenie ilościowej ewidencji stanu i przebiegu produkcji.

Organizacyjne przygotowanie produkcji określa się również mianem wykonawczego przygotowanie produkcji. Plany wykonawcze dotyczą:

- uruchamiania produkcji,
- zamawiania materiałów produkcyjnych,
- harmonogramowania dostaw materiałów,
- harmonogramowania prac transportowych i magazynowych.

Na etapie organizacyjnego przygotowania produkcji powstaje następująca dokumentacja[4]:

- dokumentacja organizacji procesu produkcyjnego,
- dokumentacja materiałowa i magazynowa,
- dokumentacja planistyczna związana z uruchomieniem, realizacją, kontrolą przebiegu.

[3] Karmańska A., *Koszty w przedsiębiorstwie*, Wydawnictwo Indor, „Poradnik Prawny" nr 18-19/1995
[4] Jodełko Z., Marks B., *Op. cit.*

Podsumowując, należy stwierdzić, że w ramach procesu przygotowania produkcji są realizowane następujące prace[5]:

- bieżąca obsługa procesów produkcyjnych w zakresie dotyczącym konstrukcji, technologii i organizowania procesów oraz wprowadzenie zmian w dokumentacji technicznej,
- prace naukowo-badawcze, ukierunkowane na nowe wyroby i materiały oraz metody wytwarzania,
- prace projektowe dotyczące wyrobów, procesów oraz wyposażenia,
- rozruch i opracowanie nowych metod produkcji,
- opracowanie normatywów technicznych.

d) Zarządzanie procesem przygotowania produkcji

Prace (czynności) realizowane w ramach procesu przygotowania produkcji wykonywane powinny być przez odpowiednie komórki organizacyjne, współpracujące ze sobą w ramach różnych struktur zarządzania. Bieżąca obsługa produkcji dotycząca konstrukcji, technologii i organizacji realizowanych procesów oraz wprowadzenia zmian w dokumentacji technicznej, wykonywana jest przez Dział Techniczny lub Dział Planowania Przygotowania Produkcji. Komórki te są przeważnie zlokalizowane w Pionie Technicznym lub w Pionie Produkcji, czyli w typowych liniowych strukturach organizacyjnych, ukształtowanych z punktu widzenia podstawowych funkcji przedsiębiorstwa (produkcja, finanse, marketing, itp.)

Jednak przygotowanie i wdrożenie do produkcji nowych wzorów wyrobów oraz rozwój i restrukturyzacja procesów wytwórczych coraz częściej wymagają zaangażowania i współdziałania różnych komórek organizacyjnych przedsiębiorstwa. Realizację procesu powstawania nowego wyrobu najczęściej nazywa się zadaniem projektowym lub krótko: projektem.

[5] Nasierawski W., *Zarządzanie rozwojem techniki*, Wydawnictwo POLTEXT, Warszawa 1997

Projektem w zakresie przygotowania produkcji jest zatem zespół czynności o wstępnie określonym cyklu realizacji, prowadzący do powstania określonego produktu, w ramach wcześniej założonych funduszy. Jest to specyficzny, złożony rodzaj przedsięwzięcia, związany z realizacją celów przekraczających możliwości realizacyjne jednej jednostki organizacyjnej przedsiębiorstwa.

Zarządzanie projektem obejmuje zagadnienia związane z organizowaniem i koordynowaniem prac, dotyczących przygotowania i realizacji przedsięwzięcia (projektu) w wyznaczonych przedziałach czasowych i finansowych. Prawidłowa realizacja projektu wymaga odpowiedniej struktury organizacyjnej. We współczesnych organizacjach, opierających się na wiedzy, zmierza się do zastąpienia pionów funkcjonalnych zespołami procesowymi będącymi podstawą organizacji procesowej. Każdy proces, jak choćby proces powstawania nowego wyrobu, musi posiadać swojego właściciela odpowiadającego za realizację zadań (kierownika projektu), równocześnie każda jednostka przedsiębiorstwa jest zarządzana przez odrębnego kierownika. I tak kooperujące procesy składające się na wytwarzanie, tworzą jeden zintegrowany proces, będący strumieniem przeplatających się działań przygotowawczych, obsługowych, transportowych, magazynowych i sterujących wraz z zasadniczym procesem produkcyjnym.

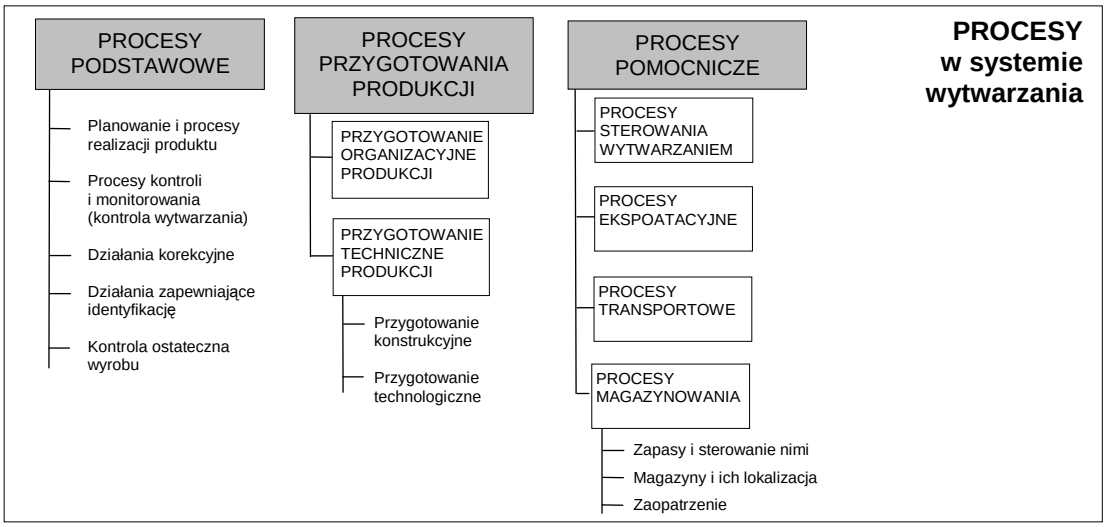
Organizacja procesowa zaproponowana przez Edwardsa W. Deminga[6] zmieniła w sposób zasadniczy postrzeganie funkcjonowania przedsiębiorstwa, a szczególnie zasady obciążenia obowiązkami poszczególnych kierowników. Organizacja procesowa posiada niehierarchiczną strukturę, której podmiotami są procesy powiązane relacją określającą współpracę pomiędzy różnymi specjalistami. Aby jednak można było mówić o organizacji procesowej należy najpierw dokonać identyfikacji procesów w samym przedsiębiorstwie. Poziom szczegółowości identyfikacji procesów zależy od powodów dla jakich dokonuje się identyfikacji. W przypadku procesu wytwarzania mamy doczynienia z przynajmniej dwoma powodami. Pierwszy z nich wynika z konieczności wskazania tych działań, które decydują o osiągnięciu zamierzeń związanych z wytwarzaniem. Drugim powodem jest konieczność dokumentowania systemu.

[6] Deming W. E., *Out of the Crisis*, MIT Press, 2000

Praktyka wskazuje, że końcowa prezentacja procesów po ich identyfikacji powinna być poprzedzona grupowaniem. Grupowanie procesów powinno wynikać ze wspólnych celów lub wspólnych sposobów postępowania stosowanych podczas realizacji celów. W szczególności procesy lub ich grupy mogą być identyfikowane ze względu na:

- rodzaj usługi lub wyrobu,
- specyfikację wymagań użytkowych,
- technologię,
- klienta lub grupy klientów,
- lokalizację,
- stosowane sposoby postępowania, w tym procedury, plany i normy.

Innymi słowy w jednej grupie znajdują się przeważnie te procesy, które realizują wspólny cel wykorzystując wspólne sposoby postępowania. Grupowanie procesów może być wielostopniowe, co wynika z natury pojęcia procesu[7], który może wskazywać na operację elementarną lub działanie złożone. Ogólnie w ramach systemu wytwarzania występują procesy, które można pogrupować w sposób zaprezentowany na Rys. 1.4.



Rys. 1.4. Procesy w systemie wytwarzania

Źródło: Opracowanie własne

[7] Proces należy rozumieć jako zbiór wzajemnie powiązanych i współzależnych zasobów i zadań, których realizacja zmierzając do wspólnego celu przebiega szeregowo lub równolegle, przekształcając stan wejściowy w stan wyjściowy [według ISO 8402]. Proces to również logiczny ciąg czynności, których celem jest dostarczenie klientowi (zewnętrznemu lub wewnętrznemu) określonego wyrobu zgodnego z jego wymaganiami [według ISO 9001:2000].

Generalnie procesy można podzielić na podstawowe i pomocnicze, co wynika z ich wpływu na powstanie produktu czy usługi zaspokajającej potrzeby klienta. Proces podstawowy realizuje sekwencje działań zmierzających bezpośrednio do powstania wartości, dla których funkcjonuje organizacja czyli na przykład przedsiębiorstwo. Inaczej mówiąc, gdy mamy doczynienia z przedsiębiorstwem funkcjonującym na rynku, proces podstawowy daje efekt w postaci usługi lub produktu specjalnie przygotowanego dla klienta zewnętrznego. Zadaniem procesów pomocniczych jest natomiast zapewnienie sprawnej realizacji procesów podstawowych, poprzez oddziaływanie na pozostałe elementy funkcjonowania organizacji lub przedsiębiorstwa.

Przedstawiając strukturę organizacji procesowej należy określić relacje między procesami składowymi, szczególnie miedzy procesami głównymi, a pomocniczymi. Poziom szczegółowości tych relacji zależy od charakteru przedsiębiorstwa, zakresu jego działalności, podziału kompetencji, rodzaju zadań i odpowiedzialności komórek organizacyjnych, a także asortymentu wytwarzanych wyrobów, technologii ich produkcji, działań logistycznych zabezpieczających wytwarzanie, zasobów przedsiębiorstwa oraz lokalizacji samych procesów.

Kolejnym krokiem jest określenie charakteru występujących powiązań pomiędzy procesami w ramach struktury organizacji procesowej. Sposób powiązań oraz ich charakter powinien wynikać z następstw określonych czynności, będących konsekwencją technologii produkcji lub sposobu wykonania usługi. Nie bez znaczenia jest również zależność między procesami gwarantującymi realizację produktu oraz zachowującymi spójność systemu. Powiązania między procesami mogą mieć charakter materialny, wskazujący na występujące między procesami przepływy fizycznych obiektów, na przykład materiałów, surowców lub niematerialny ukazujący sposób przepływu informacji. Gdy mamy doczynienia z działaniami wytwórczymi, ważne jest wskazanie w pierwszej kolejności związków o charakterze materialnym między procesami, gdyż ukazują one sekwencje działań będących kluczowym podzbiorem składającym się na strukturę organizacji procesowej.

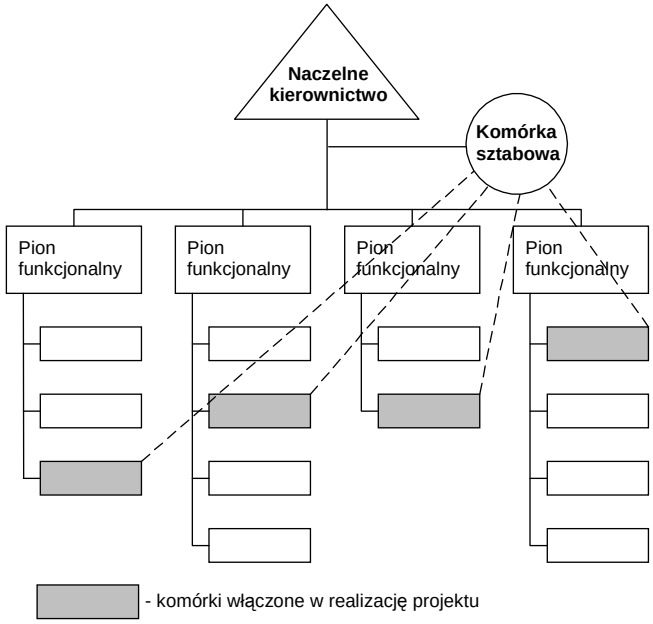
Zidentyfikowane procesy lub grupy procesów wraz z oznaczonymi relacjami występującymi pomiędzy nimi, a także z jasno określonymi głównymi wejściami tworzą mapę procesów. Mapa procesów pozwala zrozumieć jak organizacja działa, co ze względu na konieczność wysokiej elastyczności działania pomagającej zwiększyć przewagę konkurencyjną jest niezwykle istotne w przypadku przedsiębiorstwa wytwórczego. Szczegółowość mapy procesów zależy od potrzeb organizacyjnych, najbardziej złożone mapy procesów zawierają zestawienie wszystkich standardowo zachodzących w przedsiębiorstwie czynności i powtarzających się projektów wraz uwzględnieniem procedur decyzyjnych. Umieszczenie w mapie procesów informacji o częstotliwość wykonywania projektów oraz charakteru powiązań między procesami czy grupami procesów pozwala na wykrycie zaburzeń w równomiernym rozłożeniu obowiązków, na przykład w postaci „wąskich gardeł" blokujących właściwy przebieg procesu. Ważną kwestią jest również takie przygotowanie mapy procesów, aby można z niej było ustalić przebieg informacji wewnątrz organizacji, poznać obieg dokumentów, a następnie doprowadzić w całości lub części do automatyzacji procesów zgodnie ze zbiorem sformalizowanych zasad postępowania.

W odniesieniu do działań wytwórczych najważniejszą cechą organizacji procesowej jest elastyczność. Elastyczność uzyskuje się dzięki wykorzystaniu uniwersalnych elastycznych struktur przestrzennych, umożliwiających realizację zmiennych przepływów oraz kształtowanie przepływów o najkorzystniejszych parametrach czasowych. Podejście procesowe ułatwia realizowanie działań ukierunkowanych na spełnianie oczekiwań klienta oraz ogranicza zbytnią formalność zmierzającą do niepotrzebnej biurokracji. Jednak, aby zapewnić właściwą elastyczność w zaspokajaniu potrzeb klientów w podejściu procesowym, powinna być właściwie przeprowadzona procedura grupowania procesów w oparciu o podstawowe kryteria, takie jak misja organizacji realizowana poprzez wspólne cele, specyfika działań oraz lokalizacja samych procesów.

Gdy projekt ma być realizowany w ramach istniejącej organizacji przedsiębiorstwa, to można zastosować klasyczne, alternatywne rozwiązania organizacyjne:

– organizacja liniowo-sztabowa,
– organizacja macierzowa.

Organizacja liniowo-sztabowa łączy w sobie elementy struktury liniowej i funkcjonalnej z uwzględnieniem jedności kierownictwa (Rys. 1.5).



Rys. 1.5. Struktura organizacji liniowo-sztabowej

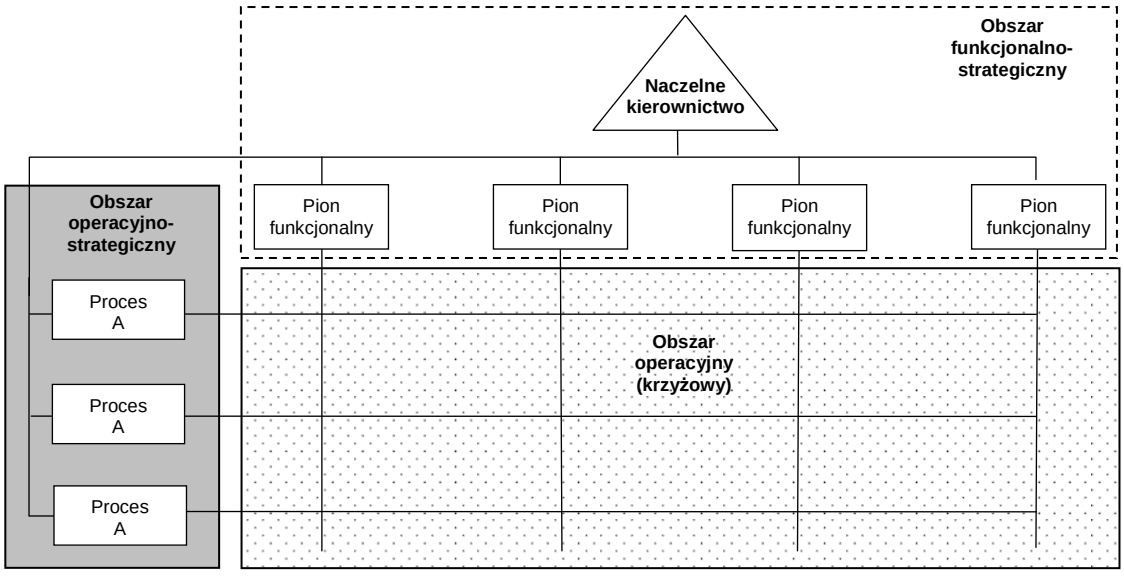
Źródło: Dudek M., Mazur G., Mazur Z., Obrzud J., *Projektowanie produktu*, [w:] Podobiński A. (red.), „Marketingowe czynniki rozwoju sprzedaży wyrobów przemysłowych", Wydawnictwo AGH, Kraków 2004, s. 36

Polega ona na specjalizacji komórek sztabowych w realizacji funkcji kierowniczych, bez uprawnień decyzyjnych względem komórek liniowych. Następuje rozdzielanie kompetencji decyzyjnych od kompetencji technicznych, jak również specjalizacja funkcjonalna kierownictwa według obszarów działań, gdyż komórki sztabowe funkcjonują jako doradcy w określonych projektach. Organizacja liniowo-sztabowa charakteryzuje się jednoczesnym wykorzystaniem założeń jednoosobowego kierowania i specjalistycznego wsparcia dla zarządzania.

Jej zaletami są: szybkość w podejmowaniu decyzji, efektywne prowadzenie procesu decyzyjnego poprzez odciążenie komórek liniowych, równowaga pomiędzy myśleniem techniczno-specjalistycznym, a układem hierarchicznym. Jako wady takiego układu organizacyjnego można wymienić: skłonność do autonomizacji komórek sztabowych i przejmowania przez nie funkcji komórek liniowych, przeciążenie naczelnego kierownictwa problemami bieżącego zarządzania, tendencję do formalizacji i biurokratyzacji oraz możliwość występowania sporów kompetencyjnych między kierownikami sztabowymi a funkcyjnymi.

Organizacja macierzowa jest nowoczesnym układem organizacyjnym, umożliwiającym szybkie reagowanie na zmieniające się warunki otoczenia. Oparta jest na strukturze dwuwymiarowej, opisanej w schemacie za pomocą kolumn i wierszy, gdzie:

– kolumny są odpowiednikami stałych powtarzalnych funkcji,
– wiersze oznaczają zmieniające się okresowo zadania, projekty lub przedsięwzięcia (Rys. 1.6).



Rys. 1.6. Dwuwymiarowa struktura organizacji macierzowej wraz z obszarami kompetencji

Źródło: Opracowanie własne

W organizacji macierzowej można realizować koegzystencję procesów i funkcji, co w przedsiębiorstwie umożliwia oddzielenie zdań związanych z realizacją projektu od zadań liniowych. Uruchomienie projektu następuje poprzez powołanie zespołów do jego realizacji (ang. *project team*) wraz z ich kierownikiem (ang. *project leader manager*). Powstałe zespoły zadaniowe powinny składać się z pracowników i specjalistów różnych branż, delegowanych na czas trwania przedsięwzięcia z różnych komórek organizacyjnych przedsiębiorstwa, a także ze specjalistów powoływanych z zewnątrz.

Struktura macierzowa wprowadza pozycję kierownika projektu, celem osiągnięcia lepszej kontroli i wykorzystania dostępnych zasobów. Kierownik projektu pełni rolę koordynatora środków i zasobów różnych zespołów. To on wyznacza terminy osiągania celów, kontroluje środki, wybiera zespoły do realizacji projektu. Liczba i skład osobowy zespołu może ulegać elastycznym zmianom w miarę postępu prac (na przykład po osiągnięciu kolejnych stanów lub etapów może następować weryfikacja zespołu). Wymaga to koordynowania zbioru zadań w czasie i przestrzeni oraz przyporządkowania im odpowiednich zasobów ludzkich, rzeczowych, finansowych i informacyjnych. W tym układzie organizacyjnym dany pracownik podlega jednocześnie kierownikowi funkcjonalnemu i kierownikowi projektu. W wyniku stosowania organizacji macierzowej wzrasta profesjonalizm podejmowanych decyzji zespołowych dzięki zastosowaniu systemowego podejścia do rozwiązywania problemów.

Przejrzysta i jasna koordynacja działań odciążająca naczelne kierownictwo od problemów bieżącego zarządzania, a duża elastyczność i innowacyjność oraz motywujący charakter autorytetu kierownika-fachowca wyzwala zablokowaną w tradycyjnych układach liniowo-sztabowych inwencję twórczą.

Możliwość kompleksowego skupienia się na konkretnym problemie i usprawnienie przepływu informacji zwiększa otwartość i elastyczność w dostosowaniu się do zmian otoczenia.

Jednak wysokie koszty związane z jasnym ograniczeniem obszarów kompetencji i odpowiedzialności, jak również zwiększona potrzeba sprawnego komunikowania się poprzez nowoczesne środki łączności mogą być przeszkodą w wykorzystaniu organizacji macierzowej w przedsiębiorstwie. Przeciążenie kierowników projektów problemami bieżącej koordynacji może mieć wpływ na wydłużenie procesów decyzyjnych.

Również brak wzajemnego zrozumienia i zaufania kierowników funkcyjnych względem kierowników projektów, stawianie kierownikom i podwładnym dość wysokich wymagań, a także niepewność i brak sprecyzowanych perspektyw towarzyszące kierownikowi i członkom zespołu w chwili zakończenia projektu mogą mieć ujemny wpływ na funkcjonowanie organizacji macierzowej.

W strukturze macierzowej można zidentyfikować trzy podstawowe obszary kompetencji (Rys. 1.6):

– Funkcjonalno-strategiczny, obejmujący naczelne kierownictwo i kierowników pionów funkcjonalnych. Do zadań przedstawicieli tego obszaru należy wypracowanie strategii przedsiębiorstwa, ustalanie jego misji i celów, a także zarządzanie pionami funkcyjnymi zgodnie z wytyczoną wizją. Funkcje kierowników poszczególnych pionów funkcjonalnych sprowadzają się do wytyczania celów dla obszaru operacyjnego w obrębie realizowanych funkcji oraz prowadzenia polityki informacyjnej w tym zakresie, a także prowadzenie szkoleń pracowników należących do danego pionu funkcjonalnego. Jednak decyzje odnośnie realizowanych projektów pozostają na poziomie operacyjnym. Tak więc realizacja własnych kompetencji wymaga od przedstawicieli obszaru funkcjonalno-strategicznego narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji oraz odpowiednich środków komunikacji, umożliwiających przepływ zarówno informacji, jak i zadań wynikających z podjętych decyzji.

- Operacyjno-strategiczny, obejmujący kierowników projektów, których zadaniem jest zarządzanie celami w obrębie swoich procesów, budowanie strategii realizacji tych procesów oraz ustalanie celów krótkoterminowych w nawiązaniu do kluczowych celów obszaru funkcjonalno-strategicznego. Spójną politykę realizacji celów całego przedsiębiorstwa zapewnić mogą jedynie sprawnie działające kanały przepływu informacji w obrębie wszystkich obszarów kompetencji, jak i mechanizmy przyjmowania i wykonywania zleconych zadań w obszarze operacyjno-strategicznym, wynikających z potrzeb strategicznych przedsiębiorstwa. Konieczność ustalania dla potrzeb projektów celów krótkoterminowych wymaga wspomagania procesu podejmowania decyzji wydajnymi narzędziami o interdyscyplinarnym charakterze, szczególnie w sytuacji realizacji inżynierii współbieżnej .
- Operacyjny (krzyżowy), obejmujący kierowników niższego szczebla realizujących funkcje zarówno w obrębie jednego pionu funkcyjnego, jak i zadania wynikające z procesu do którego należą. W obrębie tego obszaru następuje wykonanie zadań operacyjnych (produkcyjnych), wynikających z procesów realizacji poszczególnych projektów, jak i z codziennych obowiązków należących do pionów funkcjonalnych. Przedstawiciele tego obszaru odpowiedzialni są za identyfikację nieprawidłowości w obrębie swoich procesów oraz sygnalizowanie zagrożeń w realizacji zadań pionów funkcyjnych, do których należą, a także przekazywanie tych informacji do obszarów funkcjonalno-strategicznego oraz operacyjno-strategicznego. Tak więc w nadzorowaniu realizacji zadań operacyjnych, przedstawiciele pozostałych poziomów kompetencji pełnią rolę doradców, nakreślających kierunki realizacji celów oraz stymulatorów rozwoju niezbędnego do prawidłowego funkcjonowania przedsiębiorstwa w zmieniającym się otoczeniu.

Zarządzanie procesem przygotowania produkcji w oparciu o dotychczasowe liniowe modele organizacyjne sprowadzało się do budowy hierarchicznych struktur organizacyjnych z wieloma poziomami szczebli zarządzania.

Wynikiem hierarchicznej struktury było pogorszenie możliwości komunikacyjnych i potrzeba scentralizowanego kierowania procesem powstawania nowego wyrobu. Dzięki współczesnym sposobom przekazu informacji i nowoczesnym strukturom organizacyjnym, ukierunkowanym na procesowy styl zarządzania, możliwe jest spłaszczenie struktur organizacyjnych ułatwiających przepływ dokumentów, zwiększenie szybkości w reagowaniu na zmiany otoczenia, łatwość wprowadzania podjętych decyzji w życie. Jednak problemem pozostaje samo podejmowanie decyzji. W związku z presją czasową, wynikającą z dynamicznych zmian stanów wejść procesu produkcyjnego, istnieje potrzeba efektywnego wspomagania procesu podejmowania decyzji. Zmiana stanów wejść procesów produkcyjnych wynika ze zmiennych zachowań klientów (na przykład zmian mody), z postępu naukowo-technicznego (odkrycia naukowe i nowe rozwiązania konstrukcyjne), zmian koniunktury na rynku, a także zmian zachodzących w samym przedsiębiorstwie. W związku z tym, aby odnieść sukces mierzony przewagą konkurencyjną na rynku, należy nie tylko wybierać właściwe decyzje, ale także podejmować je efektywnie, czyli szybko oraz skutecznie wdrażać wynikające z nich postulaty.

W przypadku dużych firm proces zarządzania przygotowaniem produkcji, jak również podejmowanie decyzji z nim związanych, może być wspomagany przez moduły kompleksowych systemów zarządzania przedsiębiorstwem. Wszystkie wielkie pakiety programów komputerowych klasy ERP umożliwiają dostosowanie tych modułów do indywidualnych potrzeb danego przedsiębiorstwa, niemniej jednak jest to proces długotrwały i kosztowny. W sytuacji małych i średnich firm często nie ma ze względów finansowych i organizacyjnych możliwości wdrożenia takich systemów zarządzania, na jakie stać firmy duże. Dlatego tak ważne są prace zmierzające do powstania tanich i prostych w implementacji programów, które w inteligentny sposób będą wspomagać podejmowanie decyzji z zakresu przygotowania produkcji małych i średnich firm.

1.2. Podejmowanie decyzji w procesach przygotowania produkcji

a) Pojęcie decyzji i jej rodzaje

W przedsiębiorstwie wytwórczym podejmowanie decyzji w zakresie procesów przygotowania produkcji stanowi zasadniczy i kluczowy element całego procesu wytwarzania. Sam moment podjęcia decyzji przez menedżera/decydenta poprzedza wnikliwa analiza opierająca się na własnej wiedzy i doświadczeniu, a niekiedy intuicji oraz syntezie informacji dotyczących problemu decyzyjnego. Aby podjęta decyzja mogła być skuteczna i zapewniać między innymi przewagę konkurencyjną przedsiębiorstwa musi zapaść szybko i być właściwa, to znaczy oparta na prawdziwych przesłankach i z nich w sposób logiczny wynikać.

Definiując pojęcie decyzji określamy ją jako świadomy, nielosowy wybór (łac. *decisio* czyli postanowienie, rozstrzygnięcie) jednego z rozpoznanych i uznanych za możliwe do realizacji wariantów przyszłego działania[8]. Innymi słowy decyzja to ostateczny wybór sposobu działania w celu rozwiązania określonego problemu oparty na dostępnej informacji. Tak więc decydowanie jest rezultatem konsekwentnego postępowania, polegającego na opracowaniu i świadomym wyborze jednego z co najmniej dwóch możliwych wariantów sposobu przyszłego postępowania, rozwiązującego dany problem. Racjonalne decydowanie polega na starannym kalkulowaniu strat i korzyści związanych z wyborem poszczególnych możliwości. Jednak w pewnych sytuacjach przy podejmowaniu decyzji niektóre osoby posługują się czynnikiem nieracjonalnym czyli tak zwaną intuicją. Jest ona swoistą zdolnością danej osoby do czerpania wiedzy z informacji, z pominięciem procesu rozumowania i na podstawie tego specyficznego rozeznania wykonywania efektywnych działań w każdej sytuacji. Decyzja nie jest celem sama w sobie, podjęcie decyzji lub też brak decyzji (co w pewnym sensie też jest pewnego rodzaju decyzją) prowadzi zawsze do określonych skutków, których konsekwencją może być wykonanie lub zaniechanie określonego działania.

[8] Durlik I., *Inżynieria zarządzania, strategia i projektowanie systemów produkcyjnych*, cz. II, Agencja Wydawnicza Placent, Warszawa 1996, s. 331

Podejmowanie decyzji może mieć charakter jednorazowy lub ciągły. Gdy każdy skutek decyzji prowadzi do powstania nowych wniosków wzbogacających zbiór informacji o danej dziedzinie, czyli poszerza wiedzę, z której czerpie decydent przy podejmowaniu kolejnych decyzji, mamy do czynienia z tzw. łańcuchem decyzyjnym[9]. Łańcuch ten złożony jest z ogniw, które tworzą następujące po sobie decyzje. Gdy skutki decyzji są prawidłowe trudno jest analizować szczegółowo ich łączny przebieg, jednak już jedna błędna decyzja może zwiększyć prawdopodobieństwo otrzymania złego rozwiązania, które może stać się początkiem łańcucha błędnych decyzji.

Osoba, która stara się rozwiązać dany problem poprzez wydanie decyzji jest decydentem, czyli podmiotem decyzji. Rolą decydenta jest dostrzeżenie problemu, jego rozpoznanie i w końcu rozwiązanie poprzez podjęcie decyzji. Decydent aby móc zweryfikować skutki decyzji musi określić jej cel, zarówno gdy ma on charakter jakościowy (tzn. można go w pełni osiągnąć lub nie można wcale) jak i ilościowy (gdy cel można osiągnąć częściowo tzn. w jakimś procencie). Innymi słowy decydent aby rozwiązać dany problem wybiera jeden wariant przyszłego działania w określonym z góry celu. Od decydenta oczekuje się aby podejmowane decyzje były optymalne[10] lub aby przynajmniej spełniały określone minimalne kryteria[11].

Decyzje optymalne to takie które powstają poprzez wybór najlepszego z pośród wszystkich możliwych wariantów rozwiązania problemu w wyniku wnikliwego ich rozeznania oraz oceny skutków tych wariantów w oparciu o obiektywny zestaw kryteriów. Ważne jest aby decyzja optymalna realizowała cel decyzji w najwyższym stopniu.

Gdy decydent nie jest w stanie, z powodu na przykład ograniczonego czasu lub zasobów finansowych, uzyskać wszystkich niezbędnych informacji o problemie,

[9] Durlik I., *op. cit.*, s. 331
[10] Ramus M., Szczepankowski P., *Podejmowanie decyzji w organizacji* [w:] Koźmiński A.K., Piotrowski W. [red.], *Zarządzanie. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995, s. 92-97
[11] Bolesta-Kukułka K., *Decyzje menedżerskie w teorii i praktyce zarządzania*, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2000

ani nie może rozpatrywać wszystkich możliwych wariantów rozwiązania problemu, może podejmować decyzje zadowalające.

Decyzje zadawalające to decyzje, których skutki spełniają określone minimalne kryteria zakładane przez decydenta w sytuacji, gdy nie można podjąć decyzji optymalnej. Decyzje zadowalające najczęściej realizują cel decyzji tylko w pewnym stopniu, ale wymagają za to mniejszych nakładów związanych z rozeznaniem wariantów niż decyzje optymalne.

Ze względu na to kto podejmuje decyzje można wyróżnić decyzje indywidualne oraz decyzje grupowe.

Decyzje indywidualne podejmowane są przez jednego decydenta, pojedynczego człowieka. Są domeną jednoosobowych organów przedstawicielskich urzędów, firm, instytucji, jak i każdego z nas, gdy dotyczą decyzji związanych z naszym życiem. Poza normalnymi okolicznościami, zapadają najczęściej w sytuacjach kryzysowych lub nagłej i trudnej do przewidzenia sytuacji, kiedy presja czasu nie pozwala na szukanie doradców lub zespołowe omawianie problemu decyzyjnego. Zaletą decyzji indywidualnych jest jasno określona jednoosobowa odpowiedzialność decydenta za skutki jej podjęcia.

Decyzje grupowe podejmowane są przez więcej niż jednego decydenta czyli przez grupę osób. Jest to również termin z zakresu psychologii społecznej, w którym grupę osób tworzą jednostki powiązane ze sobą najczęściej miejscem i czasem działania lub współzależnością w swej aktywności[12]. Zaletą decyzji grupowych jest to, że w procesie ich podejmowania możliwe jest ujęcie problemu z punktu widzenia różnych osób, dzięki czemu decyzja nie jest zależna jedynie od poglądów i oceny jednej osoby, zyskując większy stopień akceptacji. Jednakże nawet mimo znamion obiektywizmu wnoszonego przez członków grupy, decyzje grupowe mogą być obarczone między innymi następującymi wadami:

[12] Sosnowska H. (red.), *Grupowe podejmowanie decyzji*, *elementy teorii*, *przykłady zastosowań*, Wydawnictwo Naukowe „Scholar", Warszawa 1999, s. 63

- brak nowoczesnych, radykalnych rozwiązań problemu decyzyjnego, ze względu na dążność grupy decydentów do ujednolicenia stanowiska, co prowadzi do konformizmu jej członków;
- podejmowanie decyzji nazbyt ryzykowanych, ze względu na „rozmywanie się" odpowiedzialności za decyzję na wielu członków grupy,
- nadmierna wiara w nieomylność grupy decydentów skutkująca brakiem indywidualnego, niezależnego myślenia oraz brakiem uwzględniania opinii i analiz zewnętrznych ekspertów.

Ze względu na informacje, będące podstawą podjęcia decyzji można wyróżnić[13]:

- *decyzje podejmowane w warunkach pewności* występują gdy decydent dysponuje dokładnymi, pełnymi i wiarygodnymi informacjami dotyczącymi procesu decyzyjnego oraz skutkach wybrania każdej z rozważanych możliwości rozwiązania problemu decyzyjnego. W przypadku, gdy znamy wszystkie możliwe konsekwencje wariantów decyzyjnych, wybór wariantu optymalnego sprowadza się do wyboru decyzji przynoszącej największe korzyści Najwyższy poziom przewidywalności warunków rozstrzygnięcia procesu decyzyjnego obejmujący łącznie: pewność co do wydania decyzji, co do jej treści oraz pewność jej skutków, wstępuje niezwykle rzadko.

- *decyzje podejmowane w warunkach ryzyka* występują, gdy możliwe są różne następstwa danego rozstrzygnięcia decyzyjnego oraz można określić prawdopodobieństwo zajścia każdego z tych następstw.

- *decyzje podejmowane w warunkach niepewności* dotyczą sytuacji, w których nie można do końca określić skutków podjęcia decyzji ani oszacować prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Warunki niepewności dotyczą najczęściej sytuacji nowych i nieznanych dla decydenta.

Z punktu widzenia procedury podejmowania decyzje można podzielić na programowane i nieprogramowane[14].

[13] Durlik I., *op. cit.*, s. 329
[14] Stoner J. A. F., Wankel Ch., *Kierowanie*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1992, s.122

Decyzje programowane są rutynowe i standardowe, dotyczą problemów pojawiających się regularnie, a podejmowane są zazwyczaj według przyjętych w danej organizacji procedur.

Decyzje nieprogramowane są bardziej złożone, nieautomatyczne, przy ich podejmowaniu jest wymagana zdecydowanie większa kreatywność. Występują w sytuacjach, gdy nie potwierdzają się dotychczasowe doświadczenia i sposoby postępowania, gdy następują odchylenia od ustalonych planów oraz załamania dotychczasowej taktyki działania, jak również mają miejsce nieoczekiwane wydarzenia. Decyzje nieprogramowane pojawiają są również, gdy problem którego dotyczą powstaje stosunkowo rzadko, by być przedmiotem ustalonych zasad postępowania, albo jeżeli jego ważność wymaga szczególnego sposobu traktowania.

Decyzje można również rozróżniać ze względu na rodzaj problemów które rozwiązują[15]:

– *decyzje operacyjne* dotyczą bieżącej organizacji funkcjonowania przedsiębiorstwa. Mają ograniczony zakres oddziaływania, mimo że są często podejmowane. Charakteryzują się krótkim horyzontem czasowym oraz koncentracją na bieżącej optymalizacji wykorzystania możliwości i zasobów firmy. Są podejmowane przez decydentów zlokalizowanych na najniższych szczeblach zarządzania.

– *decyzje taktyczne (administracyjne)* dotyczą problemów sprawnej organizacji zasobami i właściwej realizacji celów przedsiębiorstwa oraz niwelowania różnić pomiędzy wytyczoną strategią działania a jej realizacją. Są typowe dla średniego szczebla zarządzania.

– *decyzje strategiczne* dotyczą złożonych problemy wytyczania kierunków działania, określania długookresowych celów, a także sposobów osiągania zamierzeń. Charakteryzują się rozstrzygnięciami dotyczącymi trudnych do przewidzenia warunków i sytuacji w dłuższym horyzoncie czasowym.

[15] Penc J., *Decyzje w zarządzaniu*, Wydawnictwo Profesjonalnej Szkoły Biznesu, Kraków 1995, s. 149

Z tego względu są obarczone wysokim poziomem ryzyka, są często niepowtarzalne oraz trudno poddające się optymalizacji. Decyzje te należą do obszaru istotnego dla efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa, będąc domeną naczelnego kierownictwa.

b) Informacja jako podstawa podejmowania decyzji

Skutki decyzji cechują się pewnym stopniem ryzyka wynikającym z rzetelności informacji, na podstawie których dokonano rozstrzygnięcia. Dla zminimalizowania tego ryzyka należy zadbać o posiadanie odpowiednio przygotowanego zbioru miarodajnej i obiektywnej informacji. Oznacza to, że aby informacja była przydatna w podejmowaniu decyzji powinna posiadać następujące cechy[16]:

- aktualność,
- jednoznaczność,
- zrozumiałość,
- kompletność,
- wiarygodność.

Informacje, jako zespół elementów zwiększających wiedzę decydenta[17] o problemie decyzyjnym, powstają w procesie pozyskiwania, przekształcenia, analizowania oraz formowania danych w odpowiednio czytelny i przyswajalny dla użytkownika sposób. Dane[18] obejmujące liczby, pojedyncze wiadomości o zdarzeniach, faktach i zjawiskach, nabierają wartości informacyjnej poprzez odpowiednie ich zestawienie, co sprawia, że jesteśmy w stanie dokonać poprawnej interpretacji, a tym samym zrozumieć opisane zdarzenie czy obiekt. Dane zestawia się przeważnie w odpowiednim kontekście co dodatkowo umożliwia wyciąganie wniosków, dzięki którym problem decyzyjny staje się bardziej przejrzysty wpływając na jakość podejmowanych decyzji.

[16] Borowiecki R., Kwieciński M. (red.), *Zarządzanie zasobami informacji w przedsiębiorstwie. Ku przedsiębiorstwu przyszłości*, WNT, Warszawa 2001, s.175
[17] Czerwiński J., *Systemy wspomagania decyzji w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Wydawnictwo „Dom Organizatora" TNOiK, Toruń 2002, s. 14
[18] Stoner J. A. F., Wankel Ch., *op. cit.*, s. 447

W takim ujęciu informacja to dane po określonego rodzaju przetworzeniu, powodującym nabranie przez nie sensu, oraz zapewniającym przenoszenie określonych pojęć oraz znaczeń.

Innymi słowy dane traktuje się przeważnie jak surowiec, który po uzyskaniu i przekształceniu, podlega magazynowaniu, a jego przepływ i wykorzystanie jest ściśle monitorowane i kontrolowane.

Postrzeganie istoty informacji nie musi zawężać się jedynie do pojęcia informacji jako produktu będącego treścią o określonym znaczeniu, powstającego w wyników określonych działań oraz wyrażonego za pomocą znaków języka lub symboli pozajęzykowych[19].

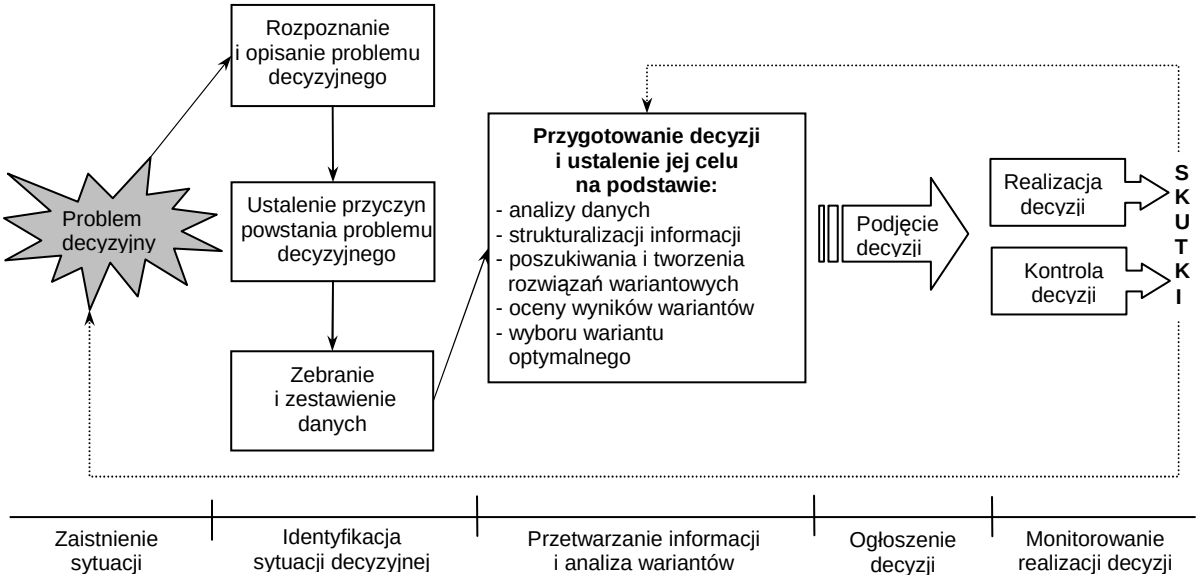
Szerszym spojrzeniem jest rozpatrywanie informacji jako procesu, będącego „zbiorem kolejnych, wzajemnie uzależnionych zmian stanów danych lub informacji wejściowych, zachodzących pod wpływem splotu działań pracowników uczestniczących w tym procesie, prowadzących do uzyskania »wytworu« w postaci informacji zaspokajającej potrzeby danego użytkownika”[20]. Innymi słowy, informacja rozumiana jako proces to zasób wiadomości o określonym przedmiocie lub dziedzinie, przekazywany innym ludziom[21], posiadający swoje źródło i nadawcę oraz odbiorcę wykorzystującego ten zasób. W tym kontekście informacja wymaga analizy i identyfikacji kanałów komunikacyjnych oraz zapewnienia właściwego systemu jej gromadzenia i udostępniania. Ważne jest również, aby dla prawidłowego przepływu informacji wewnątrz firmy, została ona zorganizowana czyli skategoryzowana, zindeksowana, a także powiązana z odpowiednimi zasobami. Aby tego dokonać należy zidentyfikować źródła informacji, zapewnić odpowiedni dopływ danych i techniczne środki ich przetwarzania, udrożnić kanały komunikacyjne, a także wskazać konkretnych odbiorców dzięki analizie obiegu informacji.

[19] Martyniak Z.(red.), *Zarządzanie informacją i komunikacją, zagadnienia wybrane w świetle studiów i badań empirycznych*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 2000, s. 23
[20] Ibidem, s. 24-25
[21] Rutka R., *Organizacja przedsiębiorstw. Przedmiot projektowania*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1996.

c) Proces podejmowania decyzji

Problem decyzyjny powstaje w rezultacie istnienia różnicy pomiędzy bieżącym stanem danego zagadnienia, a stanem uznanym za pożądany lub też gdy pojawiają się nowe nieznane wcześniej okoliczności, wpływające w istotny sposób na istniejący stan danego zagadnienia.

Działania zmierzające do podjęcia decyzji nazywa się procesem decyzyjnym lub procesem podejmowania decyzji. Główną płaszczyzną realizacji tego procesu jest świadomość i zrozumienie wszystkich czynników jakie wpływają na problem decyzyjny szczególnie tych, z których decydent może skorzystać w celu jego rozwiązania. Innymi słowy proces decyzyjny to proces rozpoznania i analizy wszystkich dostępnych informacji dotyczących problemu, po którym następuje oszacowanie rozstrzygnięć i wybór optymalnego rozwiązania (Rys. 1.7).



Rys. 1.7. Przebieg procesu decyzyjnego

Źródło: Opracowanie własne

Proces decyzyjny zawiera elementy ryzyka, a także zdolność do jego oszacowania w oparciu o wiedzę, umiejętności i doświadczenie decydenta. Proces decyzyjny potrzebuje zatem bieżącego dopływu strumienia informacji aby poprawnie i logicznie można było przeprowadzić wnioskowanie umożliwiające trafne oraz prawidłowe podjęcie decyzji.

W różny sposób starano się zapewnić wysoką jakości procesu decyzyjnego, jednak faktyczną poprawę przyniosły dopiero programy komputerowe zapewniające między innymi wsparcie przy identyfikacji problemów decyzyjnych, pomoc w analizie danych oraz ocenie wariantów, szacowanie skutków podjęcia decyzji. Przyjęło się określać je mianem systemów wspomagania decyzji (ang. *decision suport systems* – DSS)[22]. Systemy te mają za zadanie wspomaganie procesu podejmowania decyzji poprzez ułatwienie i polepszanie fachowej oceny problemów będących przedmiotem decyzji, czyli poprawienie efektywności decydowania dzięki wsparciu informacyjnemu i obliczeniowemu[23]. Zakres wspomagania obejmuje przeważanie wszystkie fazy procesu podejmowania decyzji.

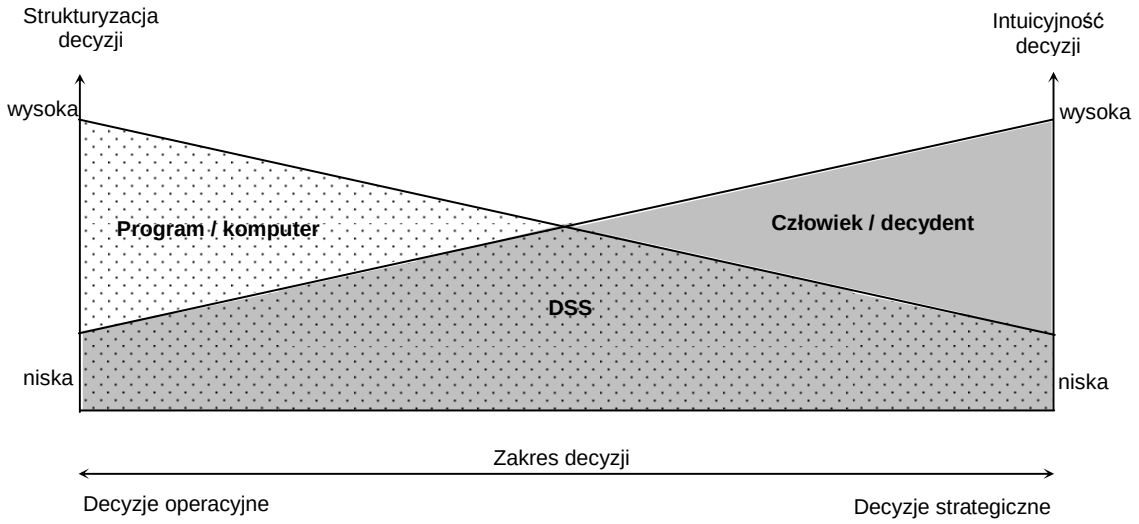
Systemy wspomagania decyzji ewoluowały z prowadzonych w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX wieku przez Carnegie Institute of Technology teoretycznych badań nad sposobami podejmowania decyzji w organizacjach oraz z prac technicznych nad interaktywnym systemem komputerowym realizowanych przez Massachusetts Institute of Technology[24]. Współczesne systemy wspomagania decyzji kładą nacisk na nowoczesne techniki przetwarzania informacji w celu usprawnienia procesu decyzyjnego, szczególnie poprzez wykorzystywanie aktywnych systemów informatycznych, które cechuje umiejętność uczenia się i adaptacji do potrzeb uczestników procesu decyzyjnego. Systemy te radzą sobie ponadto z różnymi formami niedoskonałości informacji, takimi jak nadmiarowość, niepewność, niespójność. Dodatkową zaletą jest możliwość prezentacji informacji w formie dostosowanej do potrzeb konkretnego decydenta.

Tak więc systemy wspomagania decyzji wspierając proces decyzyjny skupiają się nie tylko na przetwarzaniu samej informacji lecz również na efektach analizy i interpretacji danych stosownie do potrzeb wynikających z zadań tych systemów.

[22] Keen P. G. W., Scott Morton M., *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1978
[23] Penc J., *op. cit.*, s. 178
[24] Power D.J., *A Brief History of Decision Support Systems*, DSS Resources, World Wide Web, http://dss.cba.uni.edu/dss/dsshistory.html, 1999

To znaczy, że umożliwiają wykonywanie zarówno wieloaspektowych, przekrojowych analiz opartych na wysoce zagregowanych danych dla potrzeb strategicznych jak i zapewniają tworzenie drobiazgowych raportów dla potrzeb operacyjnych na podstawie własnych danych źródłowych przedsiębiorstwa (Rys. 1.8).

Systemy wspomagania decyzji to przeważnie zaawansowane systemy komputerowe posiadające możliwość interaktywnego dostępu do danych oraz analitycznych modeli decyzyjnych, które mogą efektywnie wspomagać procesy decyzyjne w sytuacjach w których automatyczne rozstrzygnięcie problemów przez decydenta przy użyciu standardowych programów komputerowych jest niemożliwe lub skomplikowane i czasochłonne.



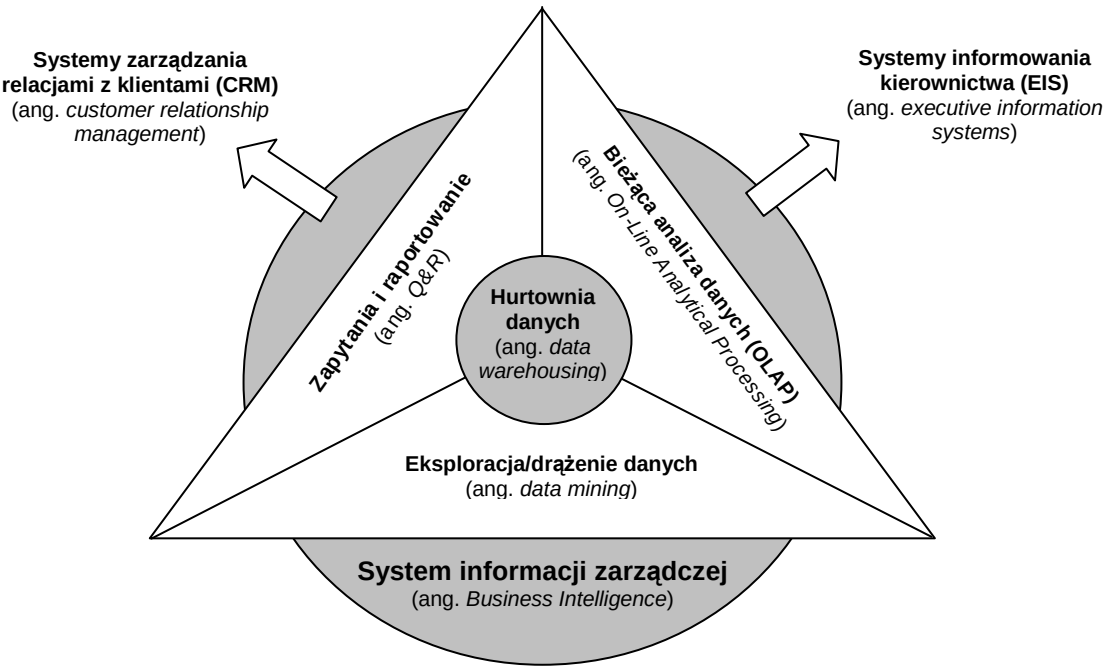
Rys. 1.8. Obszar stosowania systemów wspomagania decyzji

Źródło: Opracowanie własne

Część funkcji systemów wspomagania decyzji realizują systemy informowania kierownictwa (ang. *executive information systems* – EIS), gromadzące dane, organizujące je oraz przetwarzające do postaci przydatnej dla kierownictwa firmy. Zadaniem systemów informowania kierownictwa jest bieżące zaopatrywanie decydentów w informacje niezbędne w ich codziennej pracy, umożliwianie automatycznego dostępu do informacji z najniższych poziomów funkcjonowania firmy, dzięki czemu możliwe jest sięganie do informacji z różnych komórek przedsiębiorstwa.

Czasem systemy informowania kierownictwa dotyczą osób jedynie ze ścisłego zarządu firmy. Taki system dostarcza informacje w postaci wstępnie uporządkowanych oraz częściowo zinterpretowanych danych. Są to między innymi charakterystyki ogólnych tendencji rozwoju oraz występujące trendy, które są pomocne przy podejmowaniu strategicznych decyzji.

Coraz częściej systemy wspomagania decyzji nabierają cech tak zwanych systemów informacji zarządczej (ang. *Business Intelligence – BI*)[25]. Systemy informacji zarządczej wykorzystują dane gromadzone we wszystkich zasobach informacyjnych przedsiębiorstwa, a także wiedzę oraz doświadczenie osób uczestniczących w procesach biznesowych dla wielowymiarowej analizy wspierającej podejmowanie decyzji na wszystkich szczeblach zarządzania. Podstawą systemów informacji zarządczej są więc programy analizy danych, procesy automatyzujące raportowanie, a także narzędzia zapytań, które pomagają decydentom znaleźć i wykorzystać najistotniejsze informacje dla polepszenia jakości i skuteczności decyzji (Rys. 1.9.).



Rys. 1.9. Narzędzia systemów informacji zarządczej

Źródło: Opracowanie własne

[25] Biere M., *Business Intelligence for the Enterprise*, Prentice Hall PTR/IBM Press, June 2003

Obecne narzędzia systemów wspomagania decyzji a wraz z nimi systemy informacji zarządczej umożliwiają wykorzystanie wyników analiz i skutków decyzji w pętli dostarczającej zwrotnie ten zasób informacji do systemów, które zapoczątkowały proces decyzyjny. Systemy informacji zarządczej, dzięki możliwości szerszego wykorzystania informacji zwrotnej o skutkach decyzji oraz możliwościom gromadzenia takich informacji dla potrzeb przyszłych rozstrzygnięć, stają się podstawą tworzenia wiedzy korporacyjnej. Wiedzę korporacyjną tworzą więc zaszyte najczęściej w strukturach organizacyjnych informacje o wykorzystywanych technologiach, oryginalnych rozwiązaniach organizacyjnych, mapie procesów, sposobie wspomagania procesów biznesowych oraz informacje o innych działaniach mających na celu podnoszenie sprawności i jakości działania organizacji[26]. Wiedza ta wraz z pozostającą w świadomości pracowników wiedzą indywidualną jest nieocenionym zasobem danej organizacji pozwalającym na zrozumienie jej działania, jej celów oraz wizji, a także wpływa na uzyskanie przewagi konkurencyjnej.

W tworzeniu wiedzy dla potrzeb przedsiębiorstwa niezwykle ważną rolę odgrywają hurtownie danych (ang. *data warehouse*), które będąc swoistą bazą danych, gromadzą, korelują, integrują informacje pochodzące z różnych procesów zachodzących w przedsiębiorstwie. Hurtownie danych posiadają specyficzny sposób zapisywania i przechowywania informacji. Polega on na tym, że dane gromadzone są w takiej postaci, w jakiej następnie wykorzystywane będą w raportach. Wymaga to konwersji z formatu systemów źródłowych (operujących zdarzeniami jednostkowymi) do formatu przetworzonego w postaci zagregowanej.

Aby ze zgromadzonej w hurtowniach danych wiedzy można było na bieżąco korzystać w celu podejmowania istotnych decyzji binesowych stosuje się wyrafinowane programy realizujące procesy ekstrakcji i wydobywania nowych informacji oraz tworzące aktualną wiedzę. Programy, które zajmują się zgłębianiem danych oraz procesy selekcji, odkrywania, analizy i modelowania z nimi związane noszą angielską nazwę *data mining*.

[26] Szyjewski Z., *Zarządzanie wiedzą korporacyjną*, [w:] www.placent.pl, Placent, 2002

Programy realizujące zadania „data mining" można zdefiniować jako systemy wykrywające za pomocą technik statystyczno-matematycznych korelacje i trendy w istniejących danych oraz dostarczające na ich podstawie nową wiedzę, a także rozpoznające nieznane prawidłowości i wzorce w oparciu o eksplorację obszernych zbiorów zgromadzonych wcześniej danych.

Innymi słowy pojęcie „data mining" (drążenie, eksploracja danych) obejmuje poszukiwanie regularnych wzorców oraz systematycznych współzależności pomiędzy zmiennymi opisującymi dany problem, zmierzające do oceny uzyskanych na podstawie nowych podzbiorów danych wyników przez pryzmat wykrytych wzorców. Drążenie danych w zarządzaniu wykorzystywane jest w celu odkrywania nowych struktur wiedzy, które mogą wspomagać proces podejmowania decyzji w warunkach niepewności. Realizowanie procesu drążenia danych przebiega przeważnie w kilku etapach, poczynając od segmentacji zbioru danych pozwalającej na racjonalizację dalszego przetwarzania, oczyszczaniu z błędów i wartości odstających, a następnie na analizie w oparciu o reprezentatywne próbki.

Aktualnie dąży się do łączenia hurtowni danych z mechanizmami drążenia danych oraz systemami analitycznego przetwarzania na bieżąco OLAP (ang. *on-line analytical processing*). Systemy OLAP służą do szybkiego pobierania danych zagregowanych w postaci podsumowań z hurtowni danych za pomocą odpowiednich zapytań (ang. *Q&R*) najczęściej z góry zdefiniowanych. W wyniku ich zastosowania decydent otrzymuje narzędzie pozwalające na bieżącą wielowymiarową analizę danych, której wyniki mogą być zestawiane tekstowo lub graficzne w zależności od wybranego interfejsu, przy uwzględnieniu spersonalizowanych reguł dostępu do dokumentów i informacji. Z zasady są zdecydowanie bardziej wydajne niż tradycyjne przetwarzanie zapytań do relacyjnych baz danych, a dzięki możliwości agregowania wielu raportów w jeden obiekt decydent może jednocześnie wykonywać wiele zapytań, a następnie zarządzać całymi grupami powiązanych ze sobą raportów.

d) Problemy decyzyjne w procesach przygotowania produkcji

W procesach przygotowania produkcji na każdym z jej etapów, rodzą się problemy decyzyjne, które ze względu na konieczność elastycznego reagowania na potrzeby rynku oraz zapewnienia przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstwa należy szybko rozwiązać (Rys. 1.10).



Rys. 1.10. Przebieg procesu przygotowania produkcji i występujące w nim problemy decyzyjne

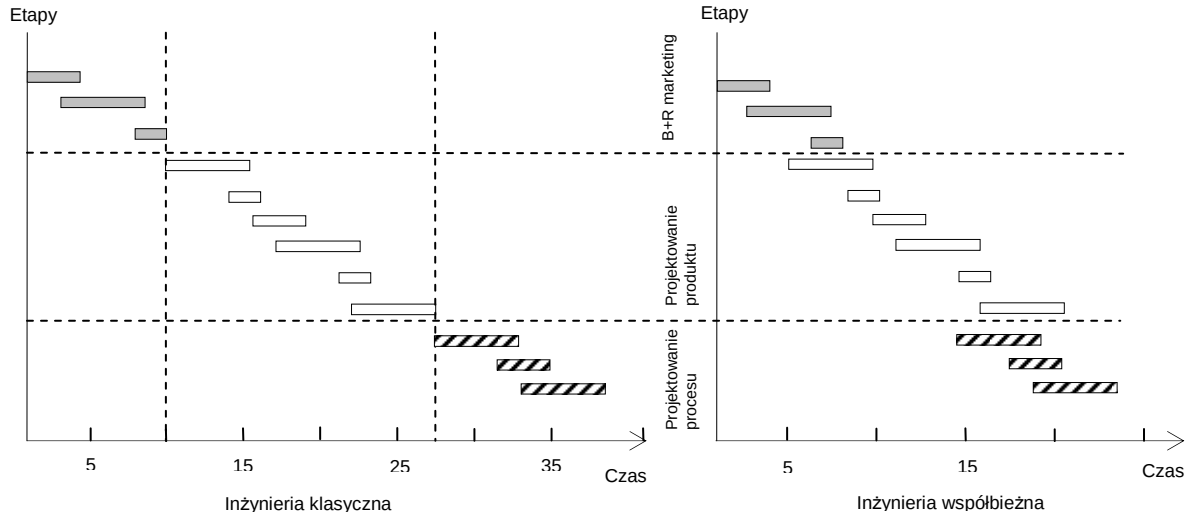
Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Wallheim J., *Modele matematyczne operacji technologicznych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1982.

Rozwiązanie wyżej przedstawionych problemów decyzyjnych we współcześnie funkcjonujących na rynku przedsiębiorstwach musi odbywać się w sposób szybki. Miarą szybkości jest konieczność wyprzedzenia konkurencji i zaspokojenie potrzeb klientów produktem własnego przedsiębiorstwa. Aby sprostać warunkowi szybkości w podejmowaniu decyzji, należy przede wszystkim skrócić cykl opracowania projektu nowego produktu, a także usprawnić sam proces decyzyjny. Skrócenie cyklu opracowania projektu nowego produktu może odbywać się poprzez zastosowanie inżynierii współbieżnej[27] (ang. *Concurrent Engineering* – CE).

[27] Rosenblatt A., Watson G. F., *Concurrent Engineering*, IEEE Spectrum, July 1991, s. 22-37

Założenia inżynierii współbieżnej powstały w Centrum Badań Inżynierii Współbieżnej na Uniwersytecie West Wirginia w latach osiemdziesiątych XX wieku. Tam też określono, co należy rozumieć pod pojęciem inżynierii współbieżnej: „Inżynieria współbieżna jest systematycznym podejściem do zintegrowanego, współbieżnego rozwoju produktu i związanych z nim procesów, który kładzie nacisk na zaspokojenie oczekiwań klientów, obejmuje zespołowe wartości współpracy i udziału w długich okresach czasu pracy równoległej przez wszystkie fazy cyklu życia produktu".

Ideą inżynierii współbieżnej jest redukcja cyklu realizacji zadania, poprzez lepszą integrację działań i procesów. Inżynieria współbieżna zakłada integrację i paralelne podejście w procesie projektowania. W efekcie prowadzi to do równoległego, zamiast szeregowego, wykonywania etapów (faz) projektowania, co daje skrócenie czasu realizacji całego zadania (Rys. 1.11). Nie mniej ważną cechą inżynierii współbieżnej jest włączenie klienta-odbiorcy wyrobu w proces jego projektowania.



Rys. 1.11. Realizacja zadań w inżynierii klasycznej i współbieżnej

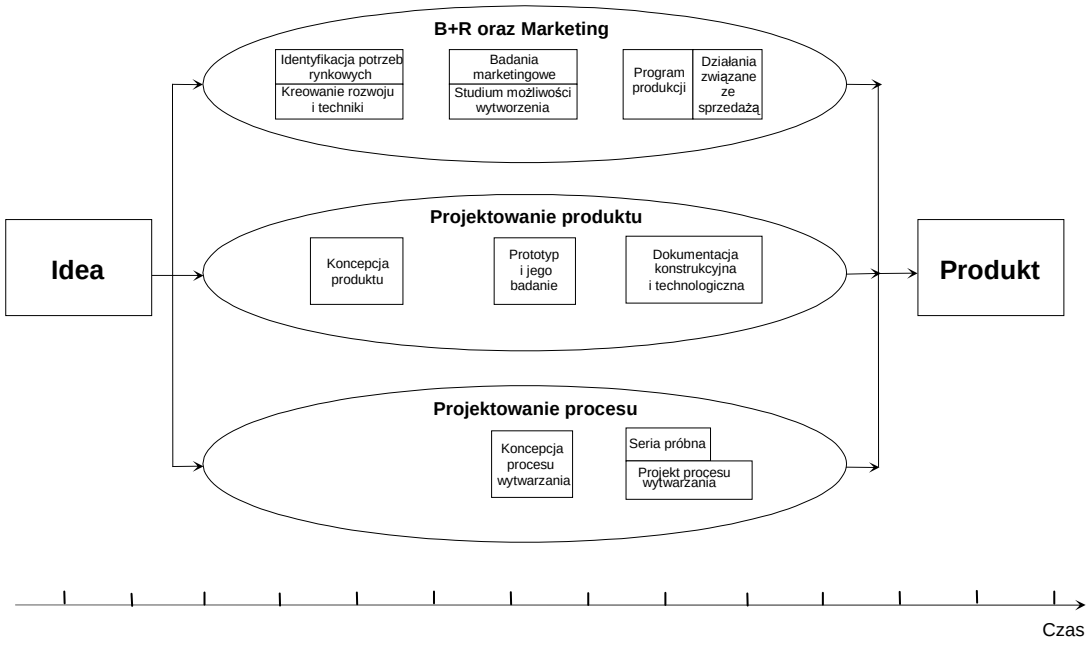
Źródło: Opracowanie własne

Innymi słowy inżynieria współbieżna to systematyczne podejście w celu zintegrowanego, współbieżnego projektowania produktów oraz związanych z nimi procesów (w tym wytwarzania i pomocniczych), zmierzające do zaangażowania klienta w analizę wszystkich elementów cyklu życia produktu, począwszy od jego idei, a skończywszy na utylizacji, włączając inspekcję jakości, analizę kosztów i zapewnienie wymagań odbiorców.

Ogólny model współbieżności strumieni działań w procesie powstawania nowego wyrobu z wykorzystaniem inżynierii współbieżnej zakłada równoległy przebieg trzech podstawowych strumieni:

- B+R oraz marketing,
- projektowanie produktu,
- projektowanie procesu,

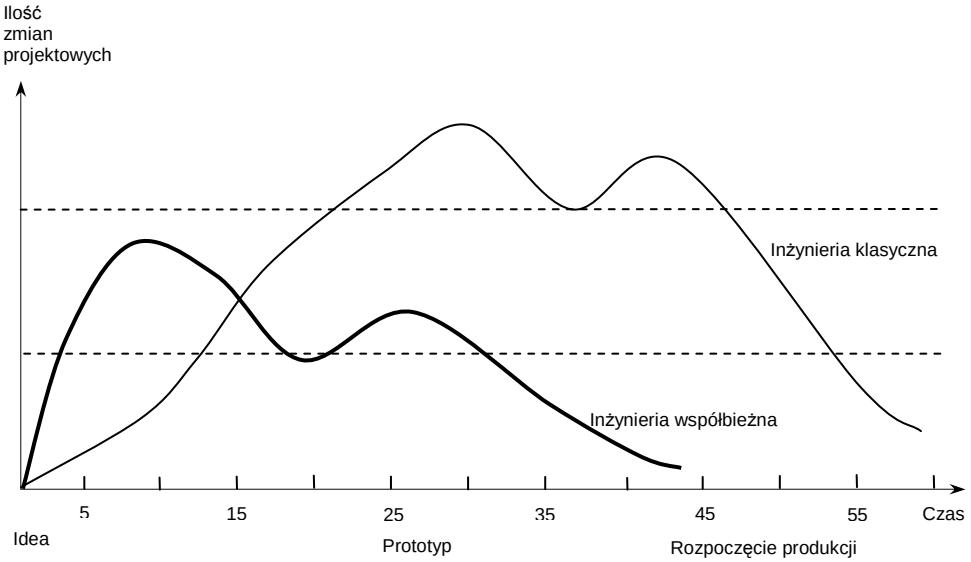
tworząc zintegrowany, równolegle funkcjonujący system przygotowania i uruchamiania produkcji nowych wyrobów (Rys. 1.12). Czynnikiem łączącym wymienione trzy strumienie z wytwarzaniem i dystrybucją jest logistyka przemysłowa.



Rys. 1.12. Model współbieżności strumieni działań w przygotowaniu nowego produktu

Źródło: Dudek M., Mazur G., Mazur Z., Obrzud J., *Projektowanie produktu*, [w:] Podobiński A. (red.), „Marketingowe czynniki rozwoju sprzedaży wyrobów przemysłowych", Wydawnictwo AGH, Kraków 2004, s. 34

Współbieżne realizowanie zadań nie tylko skraca czas, ale także redukuje ilość zmian projektowych w czasie powstawania nowego produktu, co wydatnie wpływa na ostateczne koszty przygotowania produkcji (Rys. 1.13). Jest to szczególnie ważne w przypadku wyrobów o dużej wartości lub w przypadku produkcji małoseryjnej, gdzie koszty przygotowania prototypów i serii próbnej oraz opracowania technologii rozkładają się na niewielką ilość wyrobów.



Rys. 1.13. Wykres ilości zmian projektowych w inżynierii klasycznej i współbieżnej na przykładzie amerykańskiego i japońskiego przemysłu samochodowego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *Engineering Modeling and Design*, Chapman W. L., Bahill A. T., Wymore A. W., CRC Press; September 1992

Projektowanie współbieżne, poprzez równoległe prowadzenie działań w różnych obszarach rozwoju produktu oraz wzajemne konsultowanie koncepcji i rozwiązań przez projektantów zmniejsza możliwość powstawania rozbieżności i konfliktów pomiędzy uczestnikami tego procesu, koncentrując ich zaangażowanie na efektywnej, zadaniowej organizacji pracy.

Współbieżności najczęściej towarzyszy zintegrowane podejście do procesu rozwoju produktu, polegające na tworzeniu elastycznych zespołów złożonych ze współpracujących ze sobą specjalistów różnych branż. Aby usprawnić proces decyzyjny na tym etapie, należy efektywnie wspomagać decyzje podejmowane przez te zespoły.

1.3. Narzędzia i metody wspomagania decyzji w procesie przygotowania produkcji

Aktualnie, podejmowanie decyzji, jak i sama analiza decyzyjna powinny być procesami dynamicznymi, gdyż w przeciwnym razie nie nadążą one za zmieniającymi się stanami otoczenia przedsiębiorstwa, co grozi brakiem przewagi konkurencyjnej. Ostatnim ogniwem procesu decyzyjnego jest menedżer, który ostatecznie formułuje decyzje i nadaje im status wykonywalności. Proces decyzyjny jest dla osób z nim związanych, a w szczególności menedżerów-decydentów, trudnym i odpowiedzialnym zadaniem. Już sam wymóg szybkiej reakcji na pojawiające się problemy decyzyjne może być dla nich poważnym wyzwaniem. Jednak istotne trudności sprawiają kwestie źle ustrukturalizowane bądź nieustrukturalizowane, w których rozstrzyganiu niezbędna jest interdyscyplinarna wiedza. Niekiedy skutki decyzji wybiegają daleko w przyszłość, a mnogość potencjalnych wariantów decyzyjnych, w różnym stopniu rozwiązujących bieżące, jak i przyszłe problemy może prowadzić do przeciążenia możliwości decyzyjnych menedżera i w konsekwencji doprowadzić do spadku jakości decyzji lub pojawiania się decyzji błędnych. W związku z tym aktualnie dąży się do wyposażenia menedżera-decydenta w aplikacje wspomagające zarówno proces decyzyjny, jak i samą analizę decyzyjną. W najdalej idących wypadkach takie aplikacje komputerowe mogą zastąpić znaczny procent działań człowieka bez deprecjacji wyniku-decyzji.

Do podstawowych narzędzi, wspomagających zarządzanie procesami przygotowania produkcji (Rys. 1.1) i ułatwiających podejmowanie decyzji w ich zakresie zaliczyć można między innymi[28]:

– rozwiązania w postaci osobnych modułów, zawarte w kompleksowych systemach zarządzania, na przykład klasy ERP (dotyczą procesów dobrze ustrukturalizowanych i dobrze obserwowalnych, w których optymalizacja zachodzi w oparciu o tak zwane modele referencyjne),

[28] Unold J., *Systemy informacyjne marketingu*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2001

- rozwiązania oparte o heurystykę (dotyczą procesów słabo ustrukturalizowanych i częściowo obserwowalnych, w których optymalizacja zachodzi w oparciu o tak zwane modele heurystyczne),
- rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji (dotyczą procesów słabo ustrukturalizowanych), w tym: systemy ekspertowe, rozwiązania oparte o sieci neuronowe, rozwiązania stosujące logikę rozmytą (ang. *fuzzy logic*), rozwiązania stosujące algorytmy genetyczne,
- rozwiązania hybrydowe, łączące powyższe rozwiązania.

Osobną grupę narzędzi wspomagających proces przygotowania produkcji i wydatnie wpływających na szybkość i trafność decyzji z nim związanych, są aplikacje wspomagające projektowanie produktu od strony konstrukcyjnej, do których zaliczyć można:

- digital prototyping, którego zadaniem jest przygotowanie cyfrowego modelu produktu w oparciu o program do komputerowego projektowania[29] (ang. *computer aided design/computer aided engineering* – CAD/CAE),
- virtual prototyping, pozwalający na zaawansowaną kinematyczną ocenę geometrii i wyglądu wyrobu, przy wykorzystaniu zaawansowanych technik cyfrowej wizualizacji modelu, na przykład dzięki rzeczywistości wirtualnej (ang. *virtual reality)*[30],
- rapid prototyping[31], pozwalający na szybkie i relatywnie tanie wykonanie modelu o parametrach geometrycznych zgodnych z docelowymi[32],
- rapid tooling, pozwalający na wykonanie narzędzi do produkcji wyrobu, w oparciu o przygotowane na wcześniejszym etapie projektowania fizyczne modele wyrobu[33].

[29] Kunwoo L., *Principles of CAD/CAM/CAE Systems*, Reading: Addison-Wesley, 1999
[30] Choi S. H., Chan A. M. M., *A layer-based virtual prototyping system for product development*, Computer in industry, nr 51, 2003, s. 237-256
[31] Kai Ch. Ch., Fai L. K., *Rapid prototyping: principles & applications in manufacturing (2nd ed.)*, World Scientific Publishing Co., March 2003
[32] Evans M. A., Campbell R. I., *A comparative evaluation of industrial design models produced using rapid prototyping and workshop-based fabrication techniques*, Rapid Prototyping Journal, Vol. 9, No. 5, 2003, s. 344-351
[33] Ding Y., Lan H., Hong J., Wu D., *An integrated manufacturing system for rapid tooling based on rapid prototyping*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, nr 20, 2004, s. 281-288

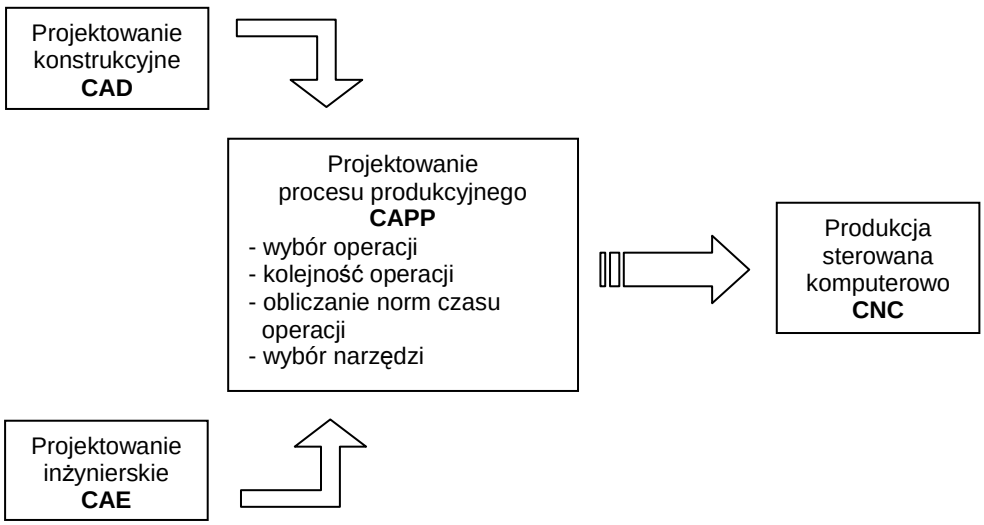
Aplikacjami podstawowymi w projektowaniu produktu od strony konstrukcyjnej są programy typu CAD[34], pozwalające na pełną analizę geometryczną wyrobów, oraz narzędzi niezbędnych do ich produkcji[35]. Ważną cechą tych programów jest możliwość wykonania zestawienia złożeniowego części wyrobu, co pozwala na analizę współzależności jego elementów we wczesnych fazach projektowania. Nowe technologie i ulepszenia wprowadzane do oprogramowania CAD są związane głównie z funkcjami wymiany danych, pracy grupowej i integracji z systemami do wspomagania zarządzania przedsiębiorstwem. Taka możliwość jest szczególnie przydatna w warunkach inżynierii współbieżnej, zakładającej równoległość strumieni działań projektowych. Jednak nie wszystkie ważne parametry projektowanego wyrobu da się sprawdzić przy użyciu aplikacji typu CAD. Z tego względu uzupełnieniem są aplikacje typu CAE, służące do symulacji zjawisk zachodzących podczas rzeczywistej eksploatacji wyrobu takich, jak na przykład występujące naprężenia i ich rozkład, odkształcenia pod obciążeniem. Jest to grupa programów wspomagających obliczenia inżynierskie, bez których obecnie żaden producent nie zdecyduje się na ryzyko budowy prototypu urządzenia, ani też na wykonanie jego modelu.

Zastosowanie oprogramowania typu CAE w procesach przygotowania produkcji umożliwia wykonanie między innymi statycznych obliczeń wytrzymałościowych czy analizy zmęczeniowej oraz dokonanie optymalizacji zmiennych projektowych z uwzględnieniem materiału, a także geometrii detalu. Od strony technologicznej projektowanie produktu wspomagają różnego rodzaju systemy symulacji komputerowej, pozwalające na skrócenie i uproszczenie procesu doboru technologii wytwarzania, a możliwość przetestowania dużej liczby różnych wariantów zapewnia wybór tego, z którym wiążą się najmniejsze nakłady finansowe. Komputerowe wspomaganie doboru technologii wytwarzania jest szczególnie ważne w sytuacjach, gdy produkt można wykonać przy wykorzystaniu odmiennych technologii, różniących się od siebie w zasadniczy sposób.

[34] Zeid I., *CAD/CAM Theory and Practice*, McGraw-Hill, New York 1991
[35] Hang W., Xiong S., Lui B., *Study on CAD/CAE system of die casting*, Journal of Materials Processing Technology, nr 63, 1997, s. 707-711

Ostatnim elementem procesu przygotowania produkcji jest projektowanie procesu produkcyjnego, które można efektywnie wspomagać za pomocą aplikacji typu CAPP[36] (ang. *Computer Aided Process Planning*).

Komputerowo wspomagane projektowanie procesu produkcyjnego (CAPP) jest kluczowym komponentem komputerowo zintegrowanego wytwarzania[37] (ang. *computer integrated manufacturing* – CIM). Projektowanie procesu w zakresie produkcji obejmuje określenie ilości i rodzaju operacji oraz ich kolejności, wybór narzędzi i przyborów, a także wyliczenie niezbędnych parametrów dla maszyn i urządzeń wytwórczych. Końcowym etapem jest generowanie programów dla potrzeb produkcji sterowanej komputerowo[38], [39] (ang. *Computer Numerical Control* – CNC) – patrz Rys. 1.14.



Rys. 1.14. Elementy komputerowo zintegrowanego wytwarzania (CIM)

Źródło: Opracowanie własne

[36] Jardzioch A., Banaszak Z., Honczarenko J., *CAP/CAPP/CAM Systems for a CIM Implementation*, Proceedings of the Fifth International Symposium on „Methods and Models in Automation and Robotics". Międzyzdroje 25-29 August 1998, vol. 3, s. 991-995

[37] Vajpayee, S. K., *Principles of Computer-Integrated Manufacturing*, Prentice Hall, February 1998

[38] Hans B. K., Waters T. F., *Computer Numerical Control*, McGraw-Hill Book Co., 1992

[39] Nanfara F., Uccell T., Murphy D., *The CNC Workbook – An Introduction to Computer Numerical Control*, Addison-Wesley Publishing Co., 1994

Stosowanie systemów typu CAPP przynosi wymierne korzyści finansowe w postaci mniejszych kosztów dzięki [40]:

- redukcji o 58% prac związanych z planowaniem procesu produkcyjnego,
- 10% ograniczeniu pracy bezpośredniej,
- 4% oszczędności materiałów,
- 10% zmniejszeniu odpadów,
- 12% ograniczeniu obróbki,
- redukcji o 6% produkcji w toku.

Dodatkowo pojawiają się nie do końca możliwe do oszacowania korzyści takie, jak:

- redukcja procesu planowania produkcji i cyklu produkcyjnego, możliwość szybkiej reakcji na zmiany inżynierskie,
- większa zwięzłość i logiczność planu produkcji, możliwość korzystania z aktualnych informacji dzięki centralnej bazie danych,
- dokładniejsze procedury przewidywania kosztów oraz mniejsza ilość błędów kalkulacji,
- bardziej kompletny i szczegółowy plan produkcji,
- dokładniejsze harmonogramowanie produkcji oraz zdolności produkcyjnych,
- zdolność do łatwego wprowadzania nowych technologii wytwarzania oraz szybkiego uaktualniania planu produkcji o udoskonalone technologie.

W nowoczesnych systemach typu CAPP stosuje się wiele zaawansowanych technik, jak modelowanie oparte o cechy[41] (ang. *feature base modeling*), programowanie zorientowane obiektowo, efektywne graficzne interfejsy użytkownika, relacyjne bazy danych oraz rozwiązania z dziedziny sztucznej inteligencji, jak na przykład systemy ekspertowe (patrz Rozdział 1.5). Jednak, aby systemy CAPP były efektywne i dobrze pełniły funkcję modułu integrującego procesy projektowe i produkcyjne, zapewniały satysfakcjonującą jakość wyrobów, a także krótki czas opracowania technologii wraz z dbałością o efekty

[40] Crow K., *Computer-aided process planning*, DRM Associates, Palos Verdes 2002, USA http://www.npd-solutions.com/capp.html

[41] Czarnecki K., Eisenecker U. W., *Generative Programming: Methods, Tools, and Applications*, Chapter 5 *Feature modeling*, Addison-Wesley, Reading, MA., June 2000, s. 83-116

ekonomiczne, należy uwzględnić sprzężenie zwrotne pomiędzy systemami wspomagającymi projektowanie wyrobu (CAD), technologii (CAE) oraz projektowania procesów (CAPP)[42].

Aby zrealizować poprawnie funkcjonujące sprzężenie zwrotne, konieczne jest ujednolicenie procesów informatycznych, zachodzących w sferze przygotowania produkcji, poprzez zastosowanie modelowania procesów. Generalnie, modelowanie procesów ma za zadanie odwzorowanie za pomocą przyjętych symboli procesów zachodzących w przedsiębiorstwie w celu ich udokumentowania lub analizy pod określonym kątem. Może to być wykonane między innymi dla potrzeb diagnostycznych, na przykład w celu znalezienia przyczyn występujących błędów lub dostosowania aktualnych procesów do zmienionych wymogów organizacyjnych. Modelowaniem procesów można się także posłużyć przy projektowaniu nowych, dotychczas nie opisanych procesów.

Techniki modelowania procesów w odniesieniu do sposobu opisu różnych aspektów danego systemu można podzielić na:
- techniki strukturalne,
- techniki obiektowe.

Techniki strukturalne zakładają dekompozycję systemu na moduły, w których wyróżnia się dane i operujące na nich procesy. Techniki te mają na celu szczegółowy opis przepływu czynności oraz danych między poszczególnymi czynnościami w ramach procesu. Charakteryzują się tym, że dane i procesy są modelowane osobno, a w projekcie stosuje się tylko proste typy danych. Systemy informatyczne powstałe w wyniku zastosowania technik strukturalnych są trudno modyfikowalne oraz ciężkie w integracji, szczególnie przy niewłaściwym podziale na moduły, co nabiera dużego znaczenia przy bardzo rozbudowanych i rozległych systemach[43].

[42] Yue S., Wang G., Yin F., Wang Y., Yang J., *Application of an integrated CAD/CAE/CAM system for die casting dies*, Journal of Materials Processing Technology, nr 139, 20 August 2000, s. 465-468
[43] Jaszkiewicz A., *Inżynieria oprogramowania*, Helion 1997

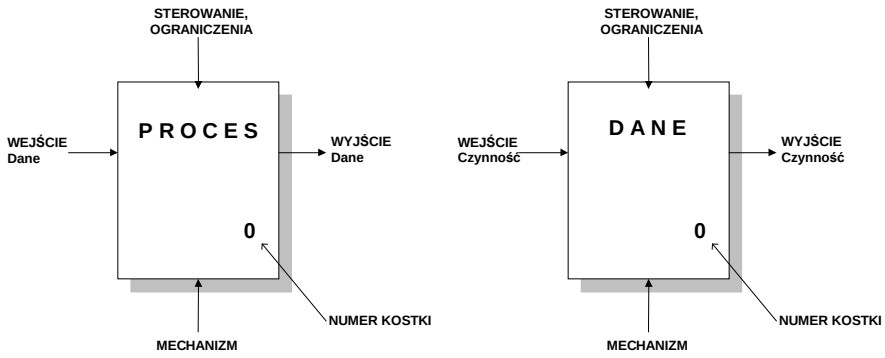
Modelowanie strukturalne należy wywodzić z badań Douglasa T. Rossa[44] i jego techniki analizy strukturalnej i projektowania[45] (ang. *Structured Analysis and Design Technique* – SADT), powstałej w połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku i rozwijanej po założeniu przez niego firmy SoftTech. SADT zakłada strukturalne podejście do złożonych problemów, komunikowanie się oraz prezentację wyników analizy i założeń projektowych systemu w postaci przejrzystej i jednoznacznej notacji. Zaawansowana kontrola trafności, kompletności i jakości wyników poprzez odpowiednie procedury akceptacji ma zapewnić bieżącą ocenę postępu prac nad systemem. SADT kładzie nacisk na zespołową pracę przy efektywnym podziale i koordynacji wysiłków, na właściwe zarządzanie rozwojem projektu, jak i dokumentowanie decyzji oraz bieżących rezultatów.

Efektem stosowania SADT jest zstępująca, modularna, hierarchiczna, a przede wszystkim strukturalna analiza problemu, opisująca dwa aspekty: rzeczowy (informacje, dokumenty, dane) oraz procesowy (czynności wykonywane przez pracowników, maszyny i urządzenia, systemy komputerowe). Znamienne jest to, że do opisu modelu wykorzystuje się diagramy przy zachowaniu jednakowej konwencji jego elementów. SADT zakłada, że wszystkie czynności, analizy i decyzje mają być dokumentowane. Stopniowa analiza problemów prowadzi do strukturyzacji szczegółowego opisu systemu w obydwu przekrojach: procesy/dane i dane/procesy.

Graficzna prezentacja modelu SADT realizowana jest w postaci wielu diagramów o określonym numerze poziomu szczegółowości, składających się z tzw. kostek ICOM (Rys. 1.15) (ang. *ICOM box*), reprezentujących procesy lub dane. Kostki jednego poziomu diagramu połączone są między sobą zależnościami funkcjonalnymi tak, aby wyjście jednej kostki były wejściem innej kostki. Wyjścia kostek diagramu wyższego poziomu mogą być wejściami poziomu niższego.

[44] Ross D.T., Schoman K.E., *Structured Analysis for Requirements Definition*, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 3, No. 1, 1977, s. 6-15
[45] SofTech Inc., *An Introduction to SADT*, SofTech Document No. 9022-78R, Waltham, Massachusetts, November 1976

Dla czytelności diagram jednego poziomu nie powinien zawierać więcej niż sześć kostek ICOM. Na jednym diagramie umieszcza się kostki ICOM zawsze tego samego typu (dane lub procesy).



Rys. 1.15. Kostki ICOM, reprezentujące procesy i dane w diagramach SADT

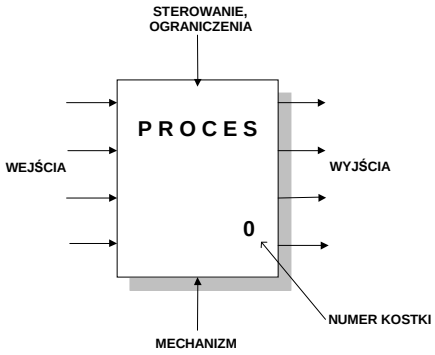
Źródło: Opracowanie własne

Rozwinięciem modelu SADT jest metoda $IDEF_0$[46], powstała pierwotnie na użytek Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych, gdzie wykorzystywano ją w zintegrowanym komputerowo wytwarzaniu[47] (ang. *Integrated Computer Aided Manufacturing* – ICAM). Metoda $IDEF_0$ interpretuje procesy jako hierarchię czynności oraz podprocesów, z których każdy dokonuje przekształcenia jednego lub więcej wejść na wyjścia, które kolejno stają się wejściami do innych podprocesów lub czynności.

W odróżnieniu od SADT w $IDEF_0$ nie występuje modelowanie danych, co oznacza że wszystkie kostki ICOM na dowolnym diagramie przedstawiają procesy (Rys. 1.16.).

[46] Hanrahan R. P., *The IDEF Process Modeling Methodology*, Cross Talk, Journal of Defense Software Engineering, June 1995

[47] SofTech, Inc., *Integrated Computer-Aided Manufacturing (ICAM)*, Report: Function Modeling Manual (IDEFO), contract no. F33612-78-C-5158, 1981



Rys. 1.16. Kostka ICOM, reprezentująca procesy w diagramie IDEF$_0$

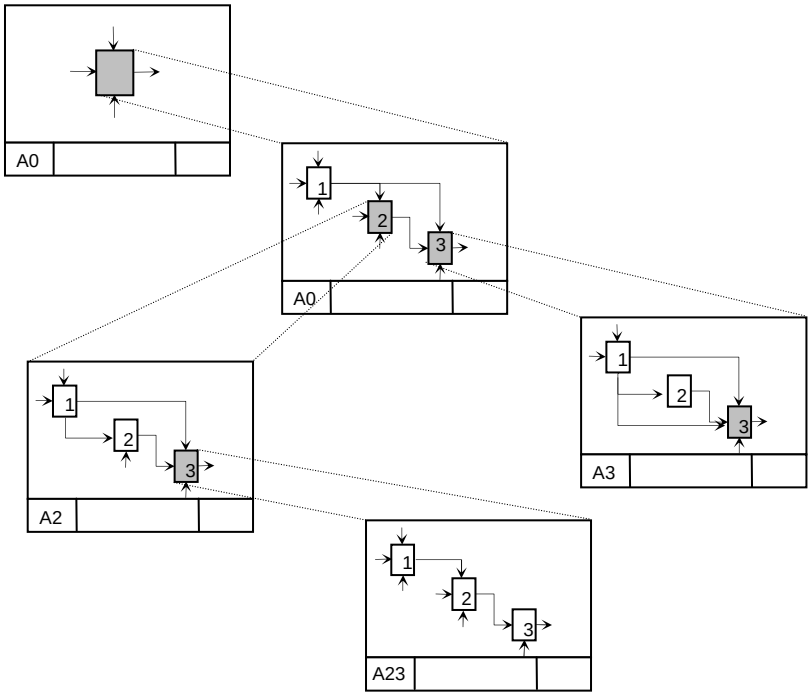
Źródło: Opracowanie własne

Obiekty pojawiające się na wejściu są transformowane przez funkcje do postaci stanowiącej wyjście. Sterowanie określa wykonywaną funkcję lub na nią wpływa. Mechanizm jest narzędziem lub zasobem potrzebnym do wykonania procesu (funkcji).

Hierarchiczna struktura IDEF$_0$ zakłada serię diagramów, zorganizowanych w ten sposób, że diagramy poziomu wyższego, tzw. rodzicielskie, mogą być zdekomponowane na coraz bardziej szczegółowe diagramy niższych poziomów. Diagramem najwyższego poziomu jest schemat kontekstowy (oznaczany A0), który jest następnie dekomponowany na diagramy niższych poziomów numerowanych A1, A2, A3, …, itd. Hierarchiczny opis czynności ułatwia przedstawienie złożonych procesów od poziomu bardziej ogólnego (diagramy o niższych numerach) do poziomu bardzo szczegółowego (diagramy o wyższych numerach) – Rys. 1.17.

Zastosowanie modelu IDEF$_0$ w tworzeniu diagramów, na przykład diagramu przepływu informacji w procesach przygotowania produkcji, spowodowałoby:
- strukturyzację i organizację procesu budowy modelu,
- wymuszenie spójnego układu diagramów procesów,
- skondensowanie informacji,
- pokazanie zasobów biorących udział w procesach,

- wymuszenie ścisłego i jednorodnego sposobu projektowania i zapisu dokumentacji procesów,
- wymuszenie hierarchicznego opisu, ułatwiającego poruszanie się po złożonych procesach,
- wymuszenie stosowania elektronicznej dokumentacji,
- skrócenie czasu trwania procesu przygotowania produkcji.



Rys. 1.17. Hierarchiczna struktura modelu IDEF$_0$ i schemat dekompozycji diagramów

Źródło: Na podstawie: Presley A., Liles D. H., *The use of IDEF$_0$ for the design and specification of methodologies,* 4th Industrial Engineering Research Conference, Nashville 1995.

Obecnie obserwuje się ciągły rozwój metod IDEF w celu zapewnienia odpowiednich narzędzi do projektowania systemów informacyjnych[48] (ang. *Information Systems* – IS) w różnych aspektach. Jednak najczęściej spotykamy:

- IDEF$_0$ wykorzystywaną do strukturalnej prezentacji funkcji systemu na zasadzie opisowej wizualizacji zależności między elementami struktury modelu,

[48] Stair R., Reynolds G., *Principles of Information Systems*, *7*th edition, Course Technology 2005

- $IDEF_1$ służącą projektowaniu struktur informacyjnych przedsiębiorstwa wraz z poszerzaniem struktur $IDEF_0$ o optymalnie zaprojektowane bazy danych, spełniające wymagania funkcjonalne określone w $IDEF_0$,
- $IDEF_2$, według której buduje się dynamiczne modele symulacyjne w oparciu o zdefiniowane w $IDEF_0$ oraz $IDEF_1$ zmienne w czasie funkcje, dane oraz zasoby informacyjne,
- $IDEF_3$ realizującą zadania gromadzenia i dokumentowania procesów, rejestracji przypadkowych i zamierzonych relacji między sytuacjami a zdarzeniami w systemie, a w szczególności ewidencji behawioralnych aspektów jego funkcjonowania w postaci kontekstowych scenariuszy, dających intuicyjne narzędzie opisu systemu. Jest to pomocne do wyrażenia wiedzy o tym, jak system, procesy oraz cała organizacja funkcjonuje.

Techniki obiektowe umożliwiają - w przeciwieństwie do technik strukturalnych - spójne przedstawienie systemu poprzez łączne modelowanie danych i procesów. Obiekty pojawiły się po raz pierwszy w języku Simula 67[49], który był początkowo rozwijany na potrzeby programowania symulacji. Właśnie to pierwotne zastosowanie języka nasunęło jego twórcom pomysł zastosowania obiektów do opisu świata rzeczywistego. Obiekty świata rzeczywistego posiadają pewien stan wewnętrzny, który podlega zmianom. Nie są one bierne, przeważnie same wykonują pewne czynności, na skutek których zmieniają swój stan i wpływają na stan innych obiektów. Obiekty można schematycznie przedstawiać w postaci ,,czarnych skrzynek'', zawierających dane (opisujące stan obiektu) i metody (wykonujące pewne akcje).

Obiektowość (ang. *Object-oriented*) jest teoretyczną, ideologiczną i praktyczną koncepcją, bazującą na wyróżnieniu obiektów o dobrze określonych granicach oraz semantyce. Naczelną zasadą obiektowości jest redukcja złożoności metodyk, projektów, języków, systemów i zastosowań. Tę zasadę obiektowości realizuje się poprzez nacisk na mechanizmy abstrakcji, mechanizmy kompozycji/dekompozycji złożonych struktur, mechanizmy hermetyzacji i ukrywania niepotrzebnych danych.

[49] Kirkerud, B.: *Object-Oriented Programming with SIMULA*, Addison-Wesley, 1989.

Za podstawowy element wszystkich technologii obiektowych uznaje się obiekt. Obiekt jest konkretnym lub abstrakcyjnym bytem (wyróżnialnym w modelowanej rzeczywistości), posiadającym nazwę, jednoznaczną identyfikację, określone granice, atrybuty i inne własności oraz odpowiednią strukturę danych, przetwarzanych przez obiektowe języki programowania oraz przechowywanych w bazie danych. Obiekt może być skojarzony z metodami lub operacjami, które na nim działają, z reguły definiowanymi w ramach jego klasy oraz jej nadklas. Identyfikator obiektu umożliwia jednoznaczne odwołanie się do obiektu (jest niepowtarzalny w systemie). Oznacza to, że wszystkie przedmioty znajdujące się wokół nas traktujemy jako obiekty. W naturalny sposób określamy ich granice, nie zagłębiając się w strukturę wewnętrzną. Obiekty prawie zawsze grupuje się w klasy (interfejsy). Klasa to zbiór obiektów podobnych do siebie, to jest posiadających te same atrybuty i metody (operacje). Innymi słowy, o klasie możemy myśleć tak, jak o szablonie, z którego mogą powstawać obiekty. Zwykle klasy wiąże się ze sobą poprzez hierarchię (lub inną strukturę) dziedziczenia. Podstawową relacją pomiędzy klasami (obiektami) jest dziedziczenie (ang. *inheritance*). Mechanizm dziedziczenia pozwala na tworzenie nowych klas, zwanych podklasami, z klas już istniejących. Nowe klasy przejmują (dziedziczą) struktury danych i metody klas, ponadto dołączane są do nich nowe własne struktury i procedury. O tym, która metoda (operacja) będzie uruchomiona, decydują argumenty wywołania metody, czyli innymi słowy o tym, która metoda będzie wywołana, wiadomo jest dopiero w trakcie działania programu (ang. *run-time*). System obiektowy automatycznie dobiera odpowiednią implementację. W ten sposób opisane zachowanie nosi nazwę polimorfizmu czyli wielopostaciowości (ang. *polymorphism*).

Innymi słowy, polimorfizm pozwala na implementacje tych samych operacji w różny sposób, w zależności od obiektów, na jakich operują. Następną ważną cechą obiektów jest ich hermetyzacja (ang. *encapsulation*), to znaczy ukrywanie niektórych atrybutów lub metod (ang. *information hiding*). Dzięki niej możemy nasze obiekty traktować jak „czarne skrzynki", udostępniając tylko te elementy, które są potrzebne, a ukrywając pozostałe. Pozwala to na zmianę pewnych obiektów lub klas bez dokonywania zmian innych obiektów.

Inną ważną cechą obiektowości jest tożsamość obiektów. Polega to na tym, że każdy obiekt ma swój unikalny identyfikator, który pozostaje niezmienny aż do momentu zniszczenia obiektu, niezależnie od operacji wykonywanych na obiekcie i wartości atrybutów im przypisanych. Oznacza to, że dwa obiekty tej samej klasy o identycznych wartościach atrybutów zawsze będą odróżnialne. Siłą technik obiektowych jest możliwość ponownego użycia kodu poprzez tworzenie hierarchii abstrakcji, dziedziczenie i polimorfizm[50], które zwiększają skuteczność programowania[51].

Z czasem wzrosło zainteresowanie zastosowaniem technik obiektowych do tworzenia modeli systemów produkcyjnych[52]. Do budowy obiektowych modeli[53] stosuje się narzędzia typu CASE[54] (ang. *Computer Aided Software Engineering*), wspomagających analizę i projektowanie obiektowe. Istnieje wiele różnych narzędzi CASE, bazują jednak one na standardzie języka modelowania obiektowego[55] (ang. *Unified Modelling Language* – UML). UML jest wizualnym językiem modelowania, którego używa się do tworzenia zorientowanych obiektowo modeli, które następnie można implementować za pomocą wielu różnych języków programowania takich, jak C++, SmallTalk lub Java. Narzędzia CASE pomagają informatykowi tworzyć model systemu w taki sam sposób, w jaki narzędzia CAD pomagają inżynierowi tworzyć model produktu.

Od wielu lat w dziedzinie projektowania systemów informacyjnych da się zauważyć wzrost znaczenia i rozwój technik obiektowych, a zwłaszcza języka UML. Wiąże się to zarówno ze znanymi ograniczeniami metod klasycznych projektowania strukturalnego, jak i z rosnącymi wymaganiami w zakresie funkcjonalności projektowanych aplikacji i elastyczności struktur danych.

[50] Górski J. (red.), *Inżynieria oprogramowania w projekcie informatycznym*, Mikom 2000
[51] Johnson R. E., Foote B., *Designing reusable classes*, Journal of Object-Oriented Programming, June/July, 1988, s. 22-35
[52] Mize J. H., Bhuskute H. C., Pratt D. B., Kamath M., *Modeling of integrated manufacturing systems using an object-oriented approach.* IIE Transactions, nr 24 (3), 1992, s. 14-26
[53] Adiga S., Glassey C. R., *Object-oriented simulation to support research in manufacturing systems*. International Journal of Production Research, nr 29 (12), 1991, s. 2529-2542
[54] Jaszkiewicz A., *op. cit.*
[55] Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., *UML przewodnik użytkownika*, WNT 2001

Wspomaganie podejmowania decyzji poprzez wykorzystanie systemów informacyjnych, a także sam proces zarządzania wymaga informacji. Jednak samo posiadanie informacji w zasadzie już nie wystarcza do właściwego jej wykorzystania.

W związku z tym, oprócz konieczności posiadania dostatecznej ilości informacji dotyczącej procesów w systemie (strumieni i zbiorów informacji, dotyczących tych procesów), należy jeszcze zadbać o odpowiednie nią zarządzanie. Informacje odzwierciedlają przepływ oraz stan zasobów i dlatego muszą być gromadzone, klasyfikowane, kodowane, przetwarzane, a także odpowiednio wykorzystywane w procesach decyzyjnych. Wszystkie niezbędne informacje i zasoby powinny wchodzić w skład jednego systemu informacyjnego.

Do podstawowych determinantów systemu informacyjnego zaliczyć należy[56]:
- zasoby ludzkie,
- zasoby informacyjne,
- zasoby proceduralne,
- zasoby techniczne.

Do podstawowych funkcji, które każdy system informacyjny powinien spełniać, należą[57]:
- funkcje zasilające, związane z wyszukiwaniem danych pierwotnych oraz przetwarzaniem ich do takiej postaci, która umożliwiałaby przekazywanie i wykonywanie innych operacji,
- funkcje przechowywania, które przejawiają się w zdolności do długotrwałego magazynowania informacji przy wykorzystaniu specjalistycznych środków technicznych,
- funkcje przetwarzania, które przejawiają się w postaci przekształcania danych w informacje bezpośrednio użyteczne w procesie decyzyjnym,
- funkcje przekazywania, gdyż informacja nie musi być wykorzystana w miejscu jej powstawania.

[56] Unold J., *op. cit*.
[57] Banaszak P., Stańda A., *Zarządzanie w biznesie*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 1996

System informacyjny jako podstawa podejmowanych decyzji ma decydujące znaczenie dla efektywności procesu zarządzania i dlatego też niezmiernie istotne jest określenie użytecznych cech i elementów tego systemu tak, aby mógł on w pełni realizować zamierzone cele i pełnić podstawowe funkcje[58]. System zatem powinien obejmować takie elementy, jak[59]:

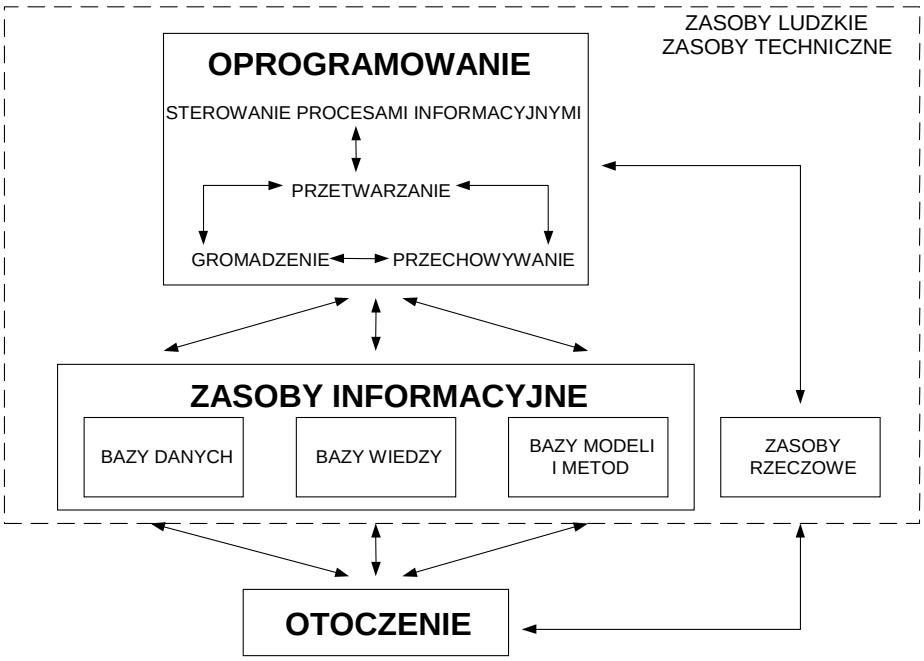
- źródła danych, tak wewnętrzne, jak i zewnętrzne,
- podsystem gromadzenia danych,
- bazę danych,
- bazę modeli i technik alternatywnych,
- podsystem udostępniania informacji,
- podsystem raportowania.

Z punktu widzenia wykorzystywanej informacji w projektowaniu interesują nas zasoby informacyjne w postaci baz danych, baz metod, baz modeli i baz wiedzy oraz zasoby proceduralne w postaci algorytmów, procedur, oprogramowania. O ile zasoby informacyjne umożliwiają zarządzanie informacją, to z kolei zasoby proceduralne stanowią element wykonawczy. Schemat powiązań systemów informacyjnych przedstawiono na Rys. 1.18.

Skuteczne działanie systemów informacyjnych jest wypadkową dwóch czynników: dopuszczalnego czasu syntezy danych o stanach systemu i jego otoczenia oraz kosztów eksploatacji tego systemu. Skuteczność zależy bezpośrednio od jakości informacji, określającej prawdopodobieństwo wystąpienia pewnych stanów systemu i jego otoczenia. Prawdopodobieństwo będzie tym większe, im dokładniejsze będą wyniki pomiarów stanów, potencjału i innych składników oraz im większa będzie częstotliwość tych pomiarów. Częstsze i dokładniejsze pomiary zwiększają koszty eksploatacji systemu. Tak więc musi istnieć kompromis pomiędzy kosztami a wartością użytkową systemu w postaci odpowiedniego, zastosowanego w danych warunkach narzędzia.

[58] Kauf S., *Zintegrowane systemy informacyjne jako narzędzie wspomagające integrację marketingu i logistyki*, w: Borowiecki R., Kwieciński M., (red.), *Informacja w zarządzaniu przedsiębiorstwem*. Zakamycze, Kraków 2003

[59] Kotler Ph., *Marketing. Planowanie*, *wdrażanie analiza i kontrola*, Wydawnictwo Fogra, Warszawa 1999



Rys. 1.18. Schemat powiązań systemów informacyjnych

Źródło: Na podstawie: Unold J., *Systemy informacyjne marketingu*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2001.

Rosnąca złożoność struktur organizacyjno-decyzyjnych współczesnych organizacji gospodarczych stawia nowe, wyższe wymagania w stosunku do wspomagających zarządzanie systemów informacyjnych. Produktem technologii informacyjnej, stanowiącym odpowiedź na te wyzwania, stały się zintegrowane systemy informacyjne ZSI, których szybki rozwój nastąpił w latach 90-tych XX wieku.

Zintegrowane systemy informacyjne[60] obejmują swoim zasięgiem wszystkie ważne obszary dziedzinowe działalności firmy i wszystkie kluczowe funkcje w ramach tych obszarów. Mogą więc być wdrażane w przedsiębiorstwach dużych, o różnej strukturze wytwarzania, wynikającej z ich specyfiki branżowej. Przykładami spektakularnych sukcesów pakietów zintegrowanych ostatnich lat mogą być takie systemy, jak: SAP R/3, Baan IV, IFS Applications, Oracle Applications.

[60] Adamczewski P., *Zintegrowane Systemy Informatyczne*, Mikom, 1999

Charakterystyczną cechą klasycznej architektury zintegrowanych systemów informacyjnych jest szczególna orientacja na procesy logistyczne i finansowe. Z tego względu właśnie architektura systemowa opiera się na dwóch głównych filarach: logistyce oraz finansach, wspartych modułem zasobów ludzkich.

Jednak szczególna rola przypisana została filarowi logistycznemu. Stanowi on podstawę dla wspomagania bieżących decyzji operacyjnych i jednocześnie zasila informacyjnie drugi niezmiernie ważny filar analityczny, tj. finanse. Stąd początkowa koncentracja uwagi twórców zintegrowanych systemów informacyjnych na informatycznym wspomaganiu procesów produkcyjnych w systemach klasy MRPII, a następnie na rozszerzeniu zakresu integracji na procesy finansowe i pracownicze w systemach kasy ERP. Pełny efekt synergii dla komputerowego wspomagania zarządzania przedsiębiorstwem daje dopiero wdrożenie wszystkich trzech filarów zintegrowanych systemów informacyjnych.

Tak więc nowoczesne podejście do przygotowania produkcji, oprócz uwzględnienia procesów i inżynierii współbieżnej, powinno się opierać między innymi o zintegrowane systemy informacyjne. Zintegrowanie oznacza łączenie ze sobą składowych elementów w celu utworzenia synergicznej całości, związanej z:

- integracją wewnętrzną polegającą na integracji przepływów, procesów, na przykład: informacyjnych, fizycznych, itp.,
- integracją zewnętrzną, polegającą na integracji procesów i systemów informacyjnych danego przedsiębiorstwa z procesami innych przedsiębiorstw (jednostek).

Istotne w związku z tym staje się uwzględnienie w procesie projektowania zintegrowanych systemów informacyjnych potrzeb informacyjnych, wynikających z projektowania nowych wyrobów. Na strukturę zintegrowanego systemu informacyjnego ma wpływ określona dla niego architektura, która powinna bazować na procesach biznesowych. Taki system jest charakteryzowany (opisywany) przy pomocy:

- opisu dynamiki tworzenia, przepływu i zmian informacji, zachodzących w procesach biznesowych,
- coraz częściej obiektowej struktury baz danych, służących do wspomagania procesów oraz opisującej powiązania informacyjne, istniejące pomiędzy procesami i ich składowymi czynnościami.

Projektowanie zintegrowanych systemów informacyjnych powinno uwzględniać dynamiczne powiązania informacyjne wzdłuż procesów biznesowych, przedstawiających aktualne przepływy między obiektami, zgodnie z celami systemów i przy wykorzystaniu posiadanych zasobów. Procesy biznesowe określają przepływy informacji między obiektami i interakcje pomiędzy nimi.

Powiązania te są rezultatem współdziałania procesów biznesowych, obejmujących różne funkcje z procesami pomocniczymi i z otoczeniem rynkowym. Prowadzi to między innymi do:

- uproszczenia procesów działalności,
- integracji danych również w układzie poziomym,
- ciągłej aktualizacji danych w systemach informacyjnych.

Wykorzystanie podejścia procesowego daje możliwość stworzenia odpowiedniej struktury zintegrowanych systemów informacyjnych. Rzetelna informacja o odpowiedniej strukturze i treści, przygotowana w odpowiednim czasie zapewnia, że podejmowane przez kierownictwo decyzje strategiczne i operacyjne są właściwe. Informacja (zarówno w swej treści jak i w strukturze) jest podstawą budowy logistycznego systemu informacyjnego.

System ten jest niezbędny w codziennym funkcjonowaniu przedsiębiorstwa i obejmuje zasoby informacji umożliwiające zasilanie, utrzymywanie i dostarczanie użytkownikowi niezbędnych danych. Prawidłowe funkcjonowanie systemu uzależnione jest od sprawnych przepływów informacji.

W relacjach wewnętrznych przepływy zespalają wszystkie sfery działalności przedsiębiorstwa i umożliwiają ich integrację. W ujęciu zewnętrznym tworzą połączenia między ogniwami łańcucha logistycznego.

Logistyczny system informacyjny to zbiór zasobów (systemów) informacyjnych wszystkich procesów logistycznych, zintegrowanych poprzez nadrzędny system sterowania. Jego istotą jest pozyskiwanie, gromadzenie, przetwarzanie, a następnie przygotowywanie informacji dla celów podejmowania decyzji w procesach logistycznych i pełnienie funkcji podstawowego systemu przedsiębiorstwa, zasilającego inne systemy niezbędną informacją.

Istotnym elementem tego systemu, zapewniającym sprawne nim sterowanie, jest szybka wymiana informacji oraz sprawne zarządzanie jej przepływem. Dążyć należy więc do stworzenia sprawnego i funkcjonalnego przepływu informacji w przedsiębiorstwie i opracowania przejrzystych oraz jednoznacznych procedur postępowania, a co za tym idzie, sprawnie działającego logistycznego systemu informacyjnego.

Koncepcja struktury logistycznego systemu informacyjnego powinna uwzględniać między innymi: misję i strategię przedsiębiorstwa, obszar i sfery działalności, występowanie procesów podstawowych i pomocniczych oraz ich sposoby modelowania, występujące obiekty, założenia w postaci ograniczeń (na przykład finansowych, czasowych), konieczne zasoby, zachodzące procesy, alternatywne rozwiązania. Koncepcja ta powinna być też zorientowana na rozwiązania organizacyjne, informacyjne, proceduralne, kadrowe i na końcu informatyczne.

Obieg, składowanie i przetwarzanie informacji w ramach zadań wykonywanych przez przedsiębiorstwa powinno być przedstawiane za pomocą modelu, w postaci specyfikacji funkcjonalnej, schematów modułów wejścia i wyjścia, diagramów przepływu danych, itp. logistyczne systemy informacyjne oparte o proponowaną technikę powinny spełniać następujące założenia.

Wejściem do systemu powinny być informacje, obejmujące całokształt działań logistycznych i pochodzące ze źródeł: zewnętrznych, czyli z otoczenia rynkowego, finansowego, prawnego oraz fizycznego a także informacje ze źródeł wewnętrznych, generowane w trakcie trwania procesów podstawowych i pomocniczych.

Wyjście to informacje, a także decyzje będące efektem zachodzących w systemie przekształceń. Sterowaniem mogą być miedzy innymi: kryteria, założenia, procedury, ograniczenia wpływające na procesy logistyczne, a mechanizmem powinny być jednostki wewnętrzne i zewnętrzne, współuczestniczące w realizacji procesów.

Cechą każdej informacji powinna być między innymi jej wiarygodność i aktualność, dlatego też jej gromadzenie i przetworzenie powinno odbywać się w miejscu jej powstania. Dzięki temu będzie istniała możliwość ciągłej jej weryfikacji.

Aby sprostać temu założeniu system powinien być wspomagany komputerowo. Logistyczny system informacyjny wspomagany komputerowo może przynieść następujące korzyści:

- możliwość szybkiego przekazywania informacji
  między poszczególnymi komórkami w przedsiębiorstwie,
- bieżącą możliwość „podglądania zadań"
  oraz możliwość kontroli stopnia ich realizacji,
- skrócenie czasu dostępu do informacji,
- automatyzację rutynowych czynności,
- sprawne sterowanie i kontrolę obiegu dokumentów,
- kontrolę poprawności i terminowości wykonywania zadań,
- informatyczne wsparcie dla innych procesów, na przykład ISO.

Zaprojektowanie poprawnej struktury logistycznego systemu informacyjnego jest istotne z punktu widzenia integracji przepływów informacyjnych w logistyce, całościowego ich ujęcia, skoordynowania, a potem sprawnego nimi zarządzania. Tylko spójny system oparty o wspomnianą technikę przyniesie korzyści, gdyż:

- definiuje centra pozyskiwania informacji,
- precyzuje funkcje i zadania poszczególnych elementów systemu,
- określa przepływy informacyjne w procesach logistycznych,
- przedstawia strukturę skomplikowanego systemu przepływu informacji w sposób spójny i zwięzły,
- jest elastyczny,
- uwzględnia strategię przedsiębiorstwa,
- określa obiekty i ich zadania oraz wymusza sprawne zarządzanie bazami danych.

Tworzenie zintegrowanych systemów informacyjnych, uwzględniających potrzeby informacyjne w zakresie przygotowania produkcji, powinno się odbywać przy równoczesnym wdrożeniu marketingowego systemu informacyjnego.

Połączenie tych dwóch systemów w pełni powinno zaspokoić potrzeby informacyjne kierownictwa. Dobre efekty otrzymać można również poprzez uzupełnienie metody $IDEF_0$ o komputerowe wspomaganie projektowania i wytwarzania CAD/CAM.

Takie podejście zapewni szybkie uzyskiwanie narzędzia do realizacji zadań informacyjnych sterowania procesami logistycznymi i stanowi narządzie pomostowe między wiedzą kierowników a analitykami, którzy opracowują specyfikację oprogramowania.

1.4. Inteligentne metody wspomagania procesu decyzyjnego

1.4.1. Geneza powstania i pierwsze próby zastosowania systemów inteligentnych

Z końcem lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku, kiedy to technika komputerowa na stałe pojawiła się w przedsiębiorstwach uprzemysłowionej części świata, uważano, że poprawa procesu zarządzania firmą nastąpi już w niedalekiej przyszłości, w momencie pełnej komputeryzacji wszystkich komórek przedsiębiorstwa. Wraz z gwałtownie realizowaną komputeryzacją zaczęto stosować wyrafinowane techniki gromadzenia i przetwarzania danych. To wszystko nie przynosiło oczekiwanych, długofalowych efektów, mimo przeznaczania rok rocznie znaczących sum na zakup sprzętu komputerowego i specjalistycznego oprogramowania. Spowodowane to było poniekąd koniecznością zatrudnienia i opłacenia dodatkowych pracowników nadzorujących pracę komputerów, co paradoksalnie powiększyło obszar zadań objętych procesem zarządzania. W połowie lat osiemdziesiątych XX-go wieku zaczęto poszukiwać bezpośredniego sposobu wspomagania decyzji, gdyż stało się jasne, że bez zwolnienia menedżerów ze żmudnych i czasochłonnych analiz, przygotowywania różnego rodzaju sprawozdań i dokumentacji techniczno-finansowych, ich praca będzie nadal nieefektywna. Tak powstała koncepcja wykorzystania inteligentnych metod w szeroko rozumianym procesie zarządzania. Zastosowanie „sztucznej inteligencji" o możliwościach rozumowania przewyższających człowieka pod względem dostępności rozstrzygnięć, szybkości działania i zdolność do dowolnie długiej koncentracji, a także niskich kosztów werdyktu miało zapewnić decydentom łatwość i skuteczność w realizacji ich działań menedżerskich oraz podnieść trafność podejmowanych przez nich decyzji.

Pierwszy raz pojęcia „sztuczna inteligencja" na forum publicznym użył John McCarthy podczas letniej konferencji w Dartmouth College w 1956 r. (Hanover, stan New Hampshire, USA), gdzie wspólnie z nim Marvin Minsky, Claude Shannon oraz Nathaniel Rochester zastanawiali się nad procesem uczenia się i budową maszyn myślących.

Następstwem tego wydarzenia było stworzenie pierwszej, jasno sprecyzowanej lecz ciągle ogólnej definicji pojęcia sztucznej inteligencji[61] (ang. *artificial intelligence* – AI), za którą uważano wówczas dziedzinę wiedzy starającą się wyjaśnić, a także naśladować inteligentne zachowanie dzięki zastosowaniu cyfrowych procesów obliczeniowych. W tamtym okresie wszystko przemawiało za interdyscyplinarną naturą sztucznej inteligencji, łączącą elementy matematyki i inżynierii, a także informatyki i nauki o poznawaniu.

To ówcześnie zaistniałe pojęcie sztucznej inteligencji opierało się na próbie wykorzystania maszyn liczących w rozwiązywaniu problemów, których formalizowanie i rozstrzyganie możliwe było jedynie przez umysł człowieka. Założenia sztucznej inteligencji zaczęto stosować do prowadzenia różnego rodzaju gier logicznych i strategicznych (program do gry w warcaby stworzony został przez Artura L. Samuela[62]), dzięki wysiłkom Allena Newella, J.C. Shawa i Herberta Simona także do automatyzacji dowodzenia twierdzeń logicznych (program „Teoretyk Logiki"[63]), jak również do rozwiązywania ogólnych problemów zaczerpniętych z codziennego życia (ang. *General Problem Solving* – GPS)[64]. Za pomocą odpowiedniego wnioskowania program GPS miał za zadanie rozwiązywać te problemy, które wymagały inteligencji do rozstrzygnięcia. Próbowano tego dokonać poprzez stworzenie teorii rozwiązywania problemów przez ludzi, gdyż twórcy chcieli uzyskać duży stopień podobieństwa działania tego programu do procesów podejmowania decyzji przez człowieka. Budowa GPS opierała się więc nie tylko na dokonaniach programistów, ale także poparta była badaniami psychologów. Program GPS wykorzystywał w swoim działaniu cele (które należy osiągnąć), symbole (zwane obiektami, które można przekształcać) i operatory (służące przekształcaniu symboli).

[61] M. Minsky zawarł swoje rozważania z seminarium z 1961 r. na temat sztucznej inteligencji w artykule *Steps toward artificial intelligence* zamieszczonym w książce pod redakcją E.A. Feigembauma i J. Feldmana, *Computers and Thought*, McGraw Hill, New York 1963, s. 406-456.

[62] Arthur L. Samuel, *Some studies in machine learning using the game of checkers*, IBM Journal of Research and Development, 3(3), July 1959, s. 210-219.

[63] Newell, A., Shaw, J.C., Simon, H.A., *Empirical explorations of the logic theory machine*. Publikacja w materiałach z Western Joint Computer Conference, 1957, ss. 218-239.

[64] Newell, A., Shaw, J.C., Simon, H.A., *Report on a general problem-solving program*. Publikacja w materiałach z International Conference on Information Processing, UNESCO, Paris, June 1959, s. 256-264.

Do dzisiaj GPS stanowi wzorcową strukturę programów modelujących, opartych na sztucznej inteligencji. Jednak źródeł sztucznej inteligencji należy dopatrywać się w rezultatach prac z zakresu logiki matematycznej, prowadzonych w pierwszych latach XX-go wieku głównie przez Bertranda Russella i Alfreda N. Whiteheada[65], których ideą było poszukiwanie podstaw matematyki w zasadach logiki, a rezultatem przedstawienie matematyki w postaci sformalizowanego systemu oraz nadanie współczesnego kształtu logice matematycznej. Nie można zapomnieć dokonań polskiego matematyka Alfreda Tarskiego. Był on twórcą teorii modeli, rozważań na temat definicji prawdy oraz twórcą podstaw semantyki. Wyprowadził pojęcie prawdy jako cechę zdań logicznych, należącą do języka, będącego metajęzykiem wobec języka, w jakim zdania te są wypowiadane. Jego rozważania uporządkowały podstawy teoretyczne i pozwoliły na światowy rozwój badań nad semantyką, logiką i filozofią matematyki. Zaproponowane w tamtym okresie systemy logiczne pokazały, że niektóre aspekty rozumowania ludzkiego mogą być formalizowane przy pomocy względnie prostych konstrukcji.

Idee te, w połączeniu z wnioskami płynącymi z fundamentalnych prac przede wszystkim Norberta Wienera, dotyczących koncepcji cybernetycznych[66], oraz Warrena McCullocha, który wraz z Walterem Pitts'em w 1943 r. zaproponował matematyczny opis komórki nerwowej i zarysował możliwość łączenia sztucznych komórek w większe układy do przetwarzania informacji[67], stały się inspiracją dla prób przeniesienia reguł rozumowania ludzkiego na język programowania komputerów. Jednak w tamtym okresie funkcjonalność i moc obliczeniowa komputerów były bardzo ograniczone, daleko im było do idei maszyn myślących. Dopiero koncepcja tak zwanego przetwarzania symbolicznego, ogłoszona przez ojca sztucznej inteligencji Alana Turinga, pozwoliła zbliżyć się naukowcom do udanych prób odwzorowania, przy pomocy zaawansowanych programów komputerowych, charakterystycznego dla umysłu człowieka sposobu rozwiązywania problemów.

[65] Przełomowe dzieła tamtego okresu to: Russell B., *Principles of Mathematics*, Cambridge University Press, Cambridge 1903 r. oraz Whitehead A. N., and Russell B., *Principia Mathematica*, 3 tomy, Cambridge University Press, Cambridge 1910 r., 1912 r., 1913 r.

[66] Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, John Wiley & Sons, Inc, New York 1948 r.

[67] McCulloch, W.S., Pitts, W. *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, 1943 r., s. 115-133.

Turing uważany jest za ojca sztucznej inteligencji ze względu na to, że był autorem jednej z pierwszych prac naukowych poświęconych temu zagadnieniu[68], a także dlatego, że zaproponował tzw. test nierozróżnialności inteligencji (ang. *indistinguishability test*). Test Turinga poddawał sprawdzeniu rozumowanie dokonywane przez komputer. Wynik testu uznawał maszynę za inteligentną, jeżeli na podstawie tych samych przesłanek przebieg rozumowania maszyny był nie do odróżnienia od rozumowania ludzkiego. Osoba testująca znajdowała się w odizolowanym pomieszczeniu, z którego mogła się kontaktować dzięki terminalowi znakowemu zarówno z testowanym dla porównania człowiekiem, jak i z badanym komputerem. Zadaniem osoby prowadzącej test było odróżnienie, za pomocą serii pytań, rozmówców: który z nich jest człowiekiem, a który maszyną. Oczywiście żadna ówczesna „maszyna myśląca" nie przeszła tego testu pozytywnie. Z czasem okazało się jednak, że test Turinga może być przydatny podczas porównywania efektywności systemów doradczych z efektywnością rzeczywistego eksperta. Turing zasłynął też jako twórca abstrakcyjnego modelu komputera służącego do wykonywania algorytmów, nazwanego potem maszyną Turinga[69].

Obecnie istnieje wiele różnych definicji sztucznej inteligencji, formułowanych przez autorów publikacji dotyczących tego zagadnienia, tak więc trudno tylko jedną z nich uznać za powszechnie obowiązującą. Można się jednak pokusić o pewną syntezę tych definicji i spróbować podać własną, zawierającą elementy najczęściej eksponowane przez wyżej wspominanych autorów. Opierając się na terminie „intelekt", oznaczającym całokształt wiedzy oraz ogół doświadczenia, a także zdolności do poznawania oraz rozumienia będące cechami umysłu ludzkiego, jak również na terminie „inteligencja", rozumianym jako aktywność umysłowa człowieka, określająca jego zdolność do przyswajania oraz wykorzystywania zdobytej wcześniej wiedzy, także wobec nowych zadań i warunków, można podać własną definicję sztucznej inteligencji.

[68] Artykuł Turing A., *Computing machinery and intelligence* opublikowany w czasopiśmie *Mind* vol. 59, no. 236, Oxford University Press, 1950 r., s.433, zawierający słynne pytanie: "Czy maszyny mogą myśleć?"

[69] Turing A., *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, [w:] *Proceedings of the London Mathematical Society*, London Mathematical Society, Series 2, Vol.42, 1936-37 r., s. 230-265.

Sztuczną inteligencją nazwiemy więc sformalizowany w pewien sposób proces, zachodzący w sztucznie do tego celu stworzonej maszynie, polegający na znajdowaniu celowych reakcji dzięki zdolności do analizy i uogólniania zależności, zachodzących w zgromadzonych wcześniej zbiorach danych.

Generalnie można stwierdzić, że w rozwoju badań nad sztuczną inteligencją wyróżnić można dwa wyraźnie różne okresy. Do końca lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku był to okres przede wszystkim badań podstawowych, tworzący założenia sztucznej inteligencji. Pionierski okres zakończył się spadkiem zainteresowania tym obszarem nauki ze względu na trudności w pełnym praktycznym wykorzystaniu osiągnięć z zakresu sztucznej inteligencji. Po początkowym entuzjazmie spowodowanym wymiernymi osiągnięciami w naśladowaniu przez programy komputerowe inteligentnego rozumowania okazało się, że konstruowane modele są zbyt proste i znacznie odbiegają od swoich skomplikowanych ludzkich pierwowzorów.

Mimo powstania specjalnego języka LISP (ang. *List Processing*), opracowanego przez Johna McCarthy'ego, a implementowanego na komputerze IBM 704 w 1960 roku, idea wiernego odwzorowania ludzkiego intelektu za pomocą maszyn cyfrowych okazała się w owym czasie praktycznie niewykonalna. Sam język programowania LISP przeznaczony był początkowo do przetwarzania listowych struktur danych[70]. Wywodził się z badań teoretycznych nad tak zwanym rachunkiem lambda[71] i z czasem stał się podstawowym językiem sztucznej inteligencji. W 1972 roku zakończono prace nad programem PROLOG, kolejnym językiem dla potrzeb sztucznej inteligencji. Twórcą założeń teoretycznych był Robert A. Kowalski z Edinburgh University, całość oprogramował Alain Colmerauer z University of Aix-Marseille we Francji i wspólnie z Phillipe Rousselem przygotował interpreter tego języka.

[70] McCarthy J., *Recursive functions of symbolic expressions and their computation by machine, Part I*. Communications of the ACM, Vol. 3, No. 4, 1960 r., s. 184-195.

[71] Rachunek lambda (ang. *lambda-calculus* lub *λ-calculus*) to abstrakcja matematyczna służąca do badania algorytmów. Wszystkie algorytmy, które dadzą się zapisać w rachunku lambda, dadzą się zaimplementować na maszynie Turinga i odwrotnie.

Natomiast kompilatorem zajął się David Warren, uniwersytecki kolega Kowalskiego. Język ten był językiem wyższego rzędu, akceptowanym w wielu ośrodkach naukowych, co przyczyniło się znacząco do wzrostu jego popularności.

W połowie lat osiemdziesiątych podjęto jednak drugi etap badań nad sztuczną inteligencją, etap ukierunkowany na bezpośrednie możliwości jej zastosowania.

Badania zmierzały w kierunku konkretnego wykorzystania w różnych dziedzinach ludzkiej działalności głównie tzw. systemów ekspertowych, sztucznych sieci neuronowych oraz algorytmów ewolucyjnych, których założenia bazowały na próbie naśladowaniu zachowania istot żywych lub procesów ewolucyjnych zachodzących w przyrodzie.

Rozwój tych systemów, a także innych przejawów sztucznej inteligencji (między innymi sieci semantycznych, będących początkowo próbą stworzenia modelu pamięci ludzkiej autorstwa Rossa M. Quilliana[72]) początkowo hamowany był przez nieliczną w tamtym okresie platformę sprzętową w postaci trudno programowalnych, niezbyt rozpowszechnionych maszyn cyfrowych oraz pierwszych komputerów. Jednak wraz z rozwojem technik komputerowych nastąpił znaczący postęp w realizacji systemów inteligentnych, a także rozkwit nowej dziedziny w obszarze nauk informatycznych, zwanej inżynierią wiedzy[73].

Prace badawcze w wielu przypadkach uwieńczone zostały spektakularnym sukcesem. Okazało się, że wypracowane w ramach badań nad sztuczną inteligencją techniki mogą być przydatne w praktyce niezależnie od tego, czy odwzorowują „ludzki" sposób rozumowania, czy też nie.

[72] Quillian M. R., *Semantic memory*, Semantic Information Processing, MIT Press, Cambridge 1968 r., s. 227-270.

[73] Inżynieria wiedzy (ang. *knowledge engineering*) zajmuje się opisem istniejących i tworzeniem nowych metod pozyskiwania wiedzy ekspertów, strukturalizowaniem jej oraz dopasowywaniem do odpowiednich technik wnioskowania wraz z tworzeniem interfejsów, czyli powiązań użytkownika z programem komputerowym.

1.4.2. Sztuczne sieci neuronowe

Sztuczne sieci neuronowe są próbą odwzorowania struktury mózgu ludzkiego dla potrzeb obliczeń numerycznych oraz reprezentacji wiedzy. Tak jak mózg człowieka, sztuczne sieci neuronowe posiadają elementy przetwarzające dochodzące sygnały (informacje), które noszą nazwę neuronów oraz sieć komunikacji pomiędzy nimi, zwaną połączeniami synaptycznymi.

Połączenia te mają różne współczynniki jednokierunkowej transmisji informacji, zwane wagami połączenia. W żywym organizmie za odpowiednie przesłanie impulsu pomiędzy neuronami odpowiada proces biochemiczny, który po osiągnięciu wartości progowej stanu pobudzenia przez wejście neuronu powoduje powstanie odpowiedniej reakcji na jego wyjściu, czyli na tzw. aksonie. W sztucznej sieci neuronowej rolę taką odgrywa funkcja aktywacji, która definiuje relację pomiędzy sygnałami przesłanymi do neuronu, a jego reakcją na wyjściu w postaci odpowiednich wartości wag (progów). Najprostszą stosowaną postacią funkcji aktywacji jest binarna wartość progowa Heaviside'a. Gdy suma wartości impulsów na wejściu sztucznego neuronu przekroczy określony próg, to na jego wyjściu pojawi się impuls oznaczający wartość 1, jeżeli zaś suma impulsów wejściowych jest niższa niż wartość wagi, to na wyjściu uzyskamy wartość 0. Tak więc wiedza o sposobach rozwiązywania problemów w sztucznej sieci neuronowej zawarta jest w jej wewnętrznych odwzorowaniach, określanych przez wartości wag. Współczynniki wagowe są z góry określane lub wyznaczone na drodze treningu, polegającym na identyfikacji wzorców w procesie reakcji na określony sygnał.

Podstawowymi cechami sztucznych sieci neuronowych, wpływającymi na możliwość ich praktycznego wykorzystania jako alternatywy w sekwencyjnym przetwarzaniu informacji, są:

- zdolność do realizacji skomplikowanych obliczeń i dużej ilości danych poprzez równoległe, rozproszone przetwarzanie informacji,

- możliwość uczenia się sieci[74] na podstawie przykładów (nadzorowane trenowanie sieci, zwane inaczej uczeniem „z nauczycielem") oraz doświadczenia (nienadzorowane trenowanie sieci, zwane inaczej uczeniem „bez nauczyciela"),
- zdolność analizy niekompletnych, nieuporządkowanych, a nawet sprzecznych danych i wyciąganie na ich podstawie poprawnych wniosków, bez konieczności identyfikacji funkcyjnej postaci modelu,
- możliwość efektywnej analizy zjawisk nieliniowych, na przykład zjawisk ekonomicznych,
- możliwość reprezentacji wiedzy w oparciu o określoną topologię wraz z wagami połączeń synaptycznych i interpretacją znaczeniową sygnałów wejściowych receptorów i sygnałów wyjściowych sieci.

Podstawowy, ogólny podział sztucznych sieci neuronowych wynika z ich wewnętrznej topologii. Sztuczna sieć neuronowa może zatem przybierać następujące warianty:

- jednokierunkowy,
- rekurencyjny (ze sprzężeniami zwrotnymi, tworzącymi cykle zamknięte),
- komórkowy (będący odmianą wariantu rekurencyjnego, w którym wzajemne sprzężenia dotyczą najbliższego sąsiedztwa sztucznych neuronów).

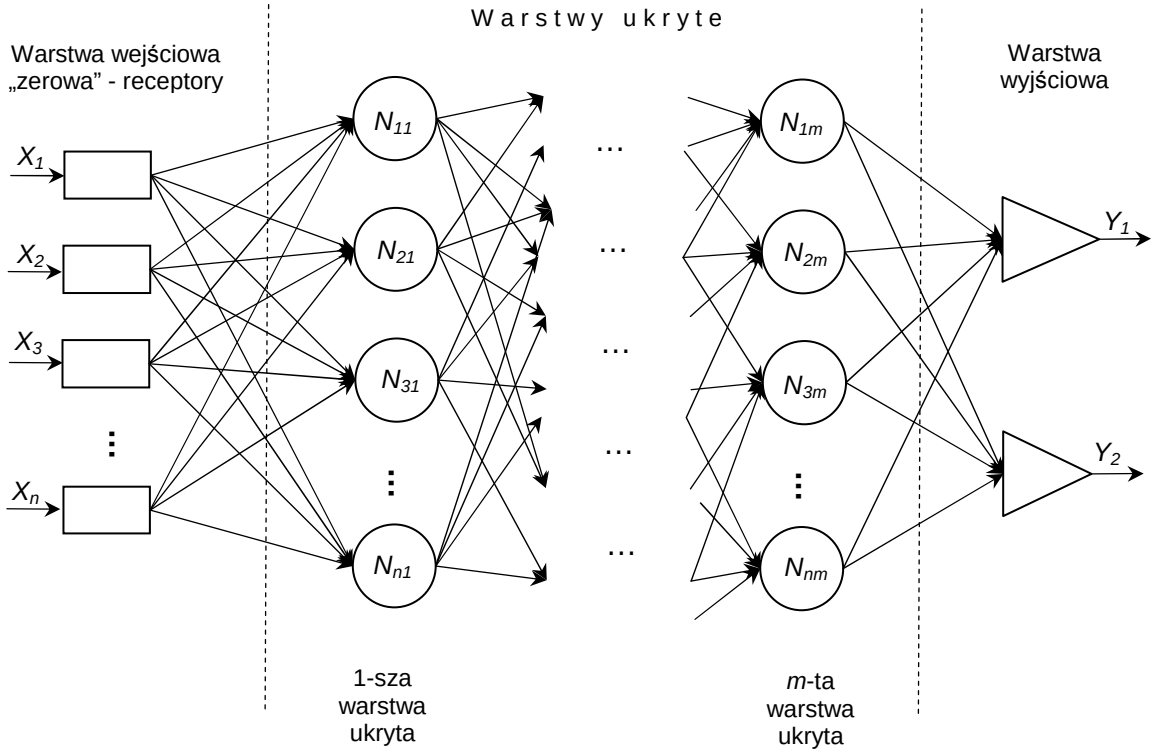
Sztuczna sieć neuronowa jednokierunkowa nazywana jest czasem siecią typu perceptronowego od nazwy „Perceptron"[75] – pierwszej sztucznej sieci neuronowej, opracowanej przez Franka Rosenblatta w 1958 r. Sieci jednokierunkowe są zorganizowane w warstwy, w których wyjścia sztucznych neuronów jednej warstwy mogą się łączyć tylko z wejściami neuronów sąsiedniej warstwy. W sztucznych sieciach neuronowych jednokierunkowych wielowarstwowych przepływ sygnału następuje w jednym kierunku od warstwy tzw. zerowej, składającej się z receptorów, czyli komórek nieprzetwarzających sygnałów, (lecz je w pewien sposób obrabiających na przykład filtrując, skalując czy normalizując) poprzez warstwy ukryte do warstw wyjściowych[76] (Rys. 1.19).

[74] Zdolność uczenia się sieci neuronowych jest decydującym czynnikiem przynależności do systemów sztucznej inteligencji.

[75] Rosenblatt F., *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*, Cornell Aeronautical Laboratory, Psychological Review, vol. 65, no.6, s. 386-408.

[76] Sieć jednokierunkowa zawierająca jedynie warstwę wejściową (zerową) i wyjściową nazywana jest perceptronem jednowarstwowym lub perceptronem prostym.

W sieciach wielowarstwowych najczęstszym sposobem uczenia jest metoda wstecznej propagacji błędu, polegającej na iteracyjnym przekazywaniu wstecz, tj. w głąb sieci, aż do jej wejścia, błędu obliczonego dla warstwy wyjściowej. Po każdej iteracji wagi każdorazowo modyfikuje się tak, by minimalizować wyznaczony błąd.



Rys. 1.19. Topologia sztucznej sieci neuronowej jednokierunkowej, wielowarstwowej

Źródło: Opracowanie własne

Mianem sieci rekurencyjnej określa się sieć, w której występują sprzężenia zwrotne między następnymi, a wcześniejszymi warstwami sztucznych neuronów. Innymi słowy, sieć ta zawiera połączenia powrotne od neuronów warstw wyższych do neuronów poprzedzających te warstwy. Dzięki sprzężeniom zwrotnym sieci rekurencyjne są zdolne do odwzorowania bardziej złożonych funkcji i realizacji skomplikowanych obliczeń, nawet takich, które mają rekurencyjny charakter. Wprowadzenie sprzężenia zwrotnego pozwala niejednokrotnie na ograniczenie ogólnej liczby sztucznych neuronów w sieci bez zmniejszania potencjału przetwarzania sztucznej sieci neuronowej.

Pojedyncze wzbudzenie sieci poprzez sygnał z receptorów powoduje wielokrotną aktywację części lub wszystkich sztucznych neuronów. Sieci rekurencyjne są sieciami bardzo dynamicznymi i niestabilnymi ze względu na rotację sygnału w jej wewnętrznej strukturze.

Do poprawnego działania tego typu sieci potrzebny jest więc dodatkowy warunek, który zapewni, że w skończonym odcinku czasu sieć osiągnie stan stabilny. W skrajnych przypadkach wszystkie połączenia wewnątrz sieci mogą mieć charakter sprzężenia zwrotnego. Mamy wtedy do czynienia z tak zwaną siecią Hopfielda. Najprostszy model sieci Hopfielda zawiera jedną warstwę n jednakowych sztucznych neuronów, w której wyjścia danego neuronu, oprócz wyjścia z sieci, mają sprzężenia zwrotne z wszystkimi pozostałymi. Sieci tego typu mogą pełnić funkcje pamięci skojarzeniowej (asocjacyjnej), czyli adresowanej kontekstowo.

Inną odmianą sieci rekurencyjnej jest tak zwana maszyna Boltzmanna, opracowana przez Geoffreya Hintona i Terrego Sejnowskiego[77] modyfikacja sieci Hopfielda, oparta między innymi na wykorzystaniu stochastycznej funkcji aktywacji. Modyfikacja ta pozwoliła ponadto na uczenie neuronów warstw ukrytych i likwidację fałszywych wzorców (negatywów wzorców zapamiętanych), kosztem wydłużenia czasu otrzymania rezultatu działania sieci.

Z punktu widzenia praktycznego wykorzystania systemów inteligentnych wspomnieć należy o tzw. sieciach samoorganizujących się, które wykorzystywane są najczęściej w zadaniach, polegających na klasyfikacji i grupowaniu informacji wejściowych. Topologia tych sieci zakłada, że wyjścia wszystkich receptorów są połączone ze wszystkimi sztucznymi neuronami sieci, a każdy neuron przetwarzający sygnał, czyli należący do tzw. warstwy konkurencyjnej, jest jednocześnie elementem wyjściowym.

[77] Hinton G. E., Sejnowski T. J., Ackley D. H.. *Boltzmann machines: Constraint satisfaction networks that learn*. Technical Report CMU-CS-84-119, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA, 1984 r..

Procesy uczenia sieci samoorganizujących się bazują na uczeniu konkurencyjnym, zaproponowanym przez Teuvo Kohonena przy opracowywaniu własnego rodzaju sieci[78]. Uczenie konkurencyjne polega na rywalizacji wszystkich neuronów wyjściowych, gdyż tylko jeden z nich może w danej sesji sieci uaktywnić sygnał wyjściowy na podstawie wprowadzonego wektora treningowego.

Jest to nienadzorowane trenowanie sieci ze względu na brak informacji w wektorze treningowym, odnoszącym się do pożądanych stanów wyjścia sieci.

1.4.3. Algorytmy ewolucyjne

Algorytmy ewolucyjne, jako jedna z technik sztucznej inteligencji, bazują na iteracyjnym sposobie poszukiwania rozstrzygnięć problemów i rozwiązywaniu zadań. Naśladują w pewien sposób naturalny mechanizm ewolucji, czyli darwinowską[79] strategię doboru i przetrwania najlepiej przystosowanych reprezentantów danego gatunku, oraz powstawania nowych gatunków lepiej dostosowanych do istniejących warunków życia, a także adaptacji istniejących gatunków do nowego środowiska. Algorytmy ewolucyjne były rozwijane niezależnie w wielu środkach naukowych na świecie począwszy od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Do najważniejszych algorytmów ewolucyjnych należy zaliczyć:

- programowanie ewolucyjne,
- strategie ewolucyjne,
- algorytmy genetyczne,
- programowanie genetyczne.

Obecnie następuje konsolidacja i współpraca różnych ośrodków w badaniach nad zagadnieniem algorytmów ewolucyjnych, prowadząca do powolnego zacierania się różnic między poszczególnymi, historycznie wyróżnionymi metodami w zakresie algorytmów ewolucyjnych.

---

[78] Kohonen T., *Self-Organization and Associative Memory*, Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 1984 r.

[79] Darwin Ch. R., *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*, J. Murray, London, 1859 r.

Algorytmy ewolucyjne, będąc klasą heurystycznych algorytmów optymalizacji, polegających na iteracyjnej metodzie poszukiwania zbioru potencjalnych rozwiązań problemu stanowią, obok metod bazujących na symbolicznym zapisie wiedzy oraz sztucznych sieci neuronowych, jedną z form uczenia systemów inteligentnych oraz pozyskiwania i syntezy wiedzy.

Znajdują zastosowanie przy zagadnieniach teoretycznych, jak również praktycznych, takich jak na przykład problem komiwojażera czy problem szeregowania zadań, analiza danych finansowych, interpretacja obrazów medycznych i zdjęć satelitarnych, a także w uczeniu i sterowaniu robotów. Generalnie, algorytmy ewolucyjne są wykorzystywane do rozwiązywania problemów, dla których nie mogą być zastosowane metody analityczne, które ze względu na zbyt długi czas obliczeń bądź trudne do sprawdzenia założenia stają się nieefektywne. Wówczas stosowane mogą być algorytmy ewolucyjne, które co prawda nie gwarantują otrzymania rozwiązań optymalnych ani nawet nie pozwalają na oszacowanie błędów rozwiązań przybliżonych, ale w wielu przypadkach prowadzą do rozwiązań suboptymalnych, czyli dostatecznie dobrych z punktu widzenia praktycznych zastosowań.

Opracowane przez Lawrencea J. Fogela[80] programowanie ewolucyjne powstało w wyniku dążenia do stworzenia inteligentnej maszyny. Z czasem zyskało znaczenie w zagadnieniach optymalizacyjnych jako narzędzie, w którym używa się takiej reprezentacji danych wejściowych oraz wyników, jakie są najlepsze dla konkretnego przypadku. Innymi słowy, nie ma ograniczeń w sposobie reprezentacji i nie wymaga się kodowania binarnego tak, jak jest to konieczne w algorytmach genetycznych.

Strategie ewolucyjne, zaproponowane niezależnie przez Ingo Rechenberga[81] oraz Hansa P. Schwefela[82], są najczęściej stosowane podczas procesów projektowania

[80] Fogel L.J., *Evolutionary programming in perspective: the top-down view*, Computational Intellingece: Imitating Life, J.M. Zurada, R.J. Marks, and C.J. Robinson (red.), IEEE Press, Piscataway, New Jersey, 1994, s. 135-146.

[81] Rechenberg I., *Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*, Frommann-Holzboog Verlag, Stuttgart 1973 r.

jako narzędzie optymalizujące, którego cechą charakterystyczną jest samoadaptacja parametrów w czasie działania algorytmu. Ze względu na potrzebę niewielkiej ilości informacji o problemie, którego rozwiązania poszukują, można je stosować do szerokiego kręgu problemów optymalizacyjnych, tym bardziej, że w przypadku licznej grupy problemów testowych wykazują większą skuteczność niż inne metody iteracyjne.

Algorytmy genetyczne, dla których założenia opracował John Holland[83], a później rozwinął i upowszechnił David E. Goldberg[84] oraz Zbigniew Michalewicz[85], są próbą wykorzystania występujących w naturze głównych sił ewolucyjnych, tj. dziedziczenia genetycznego oraz doboru naturalnego. Wykorzystuje się je dla potrzeb losowego przeszukiwania przestrzeni rozwiązań zagadnień optymalizacyjnych, w których istnieje możliwość zakodowania rozwiązania w postaci łańcuchów binarnych o stałej długości, czyli tak zwanego genotypu. Funkcjonowanie algorytmu genetycznego inicjowane jest na początkowej populacji będącej losowym zbiorem możliwych rozwiązań problemu, odpowiadającej łańcuchowi chromosomów w żywym DNA. Elementy będące składnikami inicjalnej populacji poddawane są następnie procesom symulowanej ewolucji, podczas której krzyżowanie rozwiązań angażuje dwa rozwiązania rodzicielskie, dające następnie dwa rozwiązania potomne, z których każde jest pewną syntezą informacji, przechowywanych w ciągach rodzicielskich. Oprócz krzyżowania rozwiązań, będącego transformacją wieloargumentową, mogą zachodzić mutacje, czyli transformacje jednoargumentowe, polegające na losowej zamianie pojedynczego znaku (bitu) w łańcuchach binarnych, reprezentujących zakodowaną postać rozwiązania. Tak, jak krzyżowanie jest symulacją przyrostu naturalnego, realizowanego w oparciu o rozmnażanie heterogeniczne (różni rodzice), tak mutacja jest odpowiednikiem przypadkowej deformacji materiału genetycznego pod wpływem czynników otaczającego środowiska.

---

[82] Schwefel H.P., *Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie*, Interdisciplinary Systems Research, vol. 26, Birkhauser Verlag, Basel 1977 r., s. 319-354

[83] Holland J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, Cambridge 1975 r.

[84] Goldberg D.E., *Genetic Algorithms in Search*, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. 1989 r.

[85] Michalewicz Z., *Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs*, Springer-Verlag, Berlin, 1992 r.

Zarówno krzyżowanie, jak i mutacje zachodzą na poziomie genotypu, jednak ocena powstałych w wyniku symulowanej ewolucji osobników (rozwiązań) dokonuje się dopiero po przekształceniu go do postaci fenotypu. Nad selekcją i wyborem lepszych rozwiązań czuwa tak zwana funkcja dopasowania, wartościująca wyniki ewolucji wszystkich osobników (rozwiązań) w populacji. Zadaniem algorytmu genetycznego jest ciągła poprawa średniej wartości funkcji dopasowania całej populacji w iteracjach, zmierzających do koncentracji kolejnych pokoleń osobników (rozwiązań) wokół pewnego, zbliżonego do optymalnego, rozwiązania.

Programowanie genetyczne, którego twórcą był John Koza[86], jest specjalnym algorytmem, którego działanie polega na tworzeniu nowych programów obliczeniowych w oparciu o łączenie fragmentów istniejących, a także na doborze, uwzględniającym zasady genetycznej ewolucji, tych programów do jak najlepszego rozwiązania problemu. Populacją inicjującą jest w tym przypadku reprezentowany przez struktury drzewiaste program obliczeniowy, którego uruchomienie powoduje rozwiązanie danego problemu. Krzyżowanie struktur drzewiastych jest podstawą funkcjonowania programowania genetycznego, w wyniku którego losowo wyodrębnione fragmenty drzew ulegają rekombinacji, tworząc nowe formuły obliczeniowe.

Dla powstałych w ten sposób nowych programów, będących potomkami populacji inicjującej, obliczana jest funkcja dopasowania, której wartość określa prawdopodobieństwo pojawienia się tych programów w kolejnej populacji jako formuła rozwiązania danego problemu obliczeniowego.

Cykl tych iteracji powtarzany jest do momentu powstania formuły obliczeniowej, która zapewnia wyniki obarczone błędem poniżej ustalonej wartości. W większości przypadków systemy programowania genetycznego są realizowane w języku LISP.

[86] Koza, J.R., *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT Press, 1992 r.

1.4.4. Zastosowanie inteligentnych metod wspomagania procesu decyzyjnego w zarządzaniu

Ważnym obszarem, w którym wykorzystanie sztucznej inteligencji przynieść może widoczne efekty, jest zarządzanie przedsiębiorstwem. Już samo włączanie praktyków, to znaczy menedżerów w proces konstruowania systemów inteligentnych pozwala im na zrozumienie mechanizmów, rządzących procesami komunikowania i decydowania. Pozwala także na usystematyzowanie ich własnych doświadczeń i wyeliminowanie ewentualnych błędów w rozumowaniu. Zbudowane w oparciu o zasady sztucznej inteligencji programy komputerowe mogą być także wykorzystane do konwersacyjnego szkolenia przyszłych menedżerów-decydentów.

Szczególnie w sytuacji małych i średnich przedsiębiorstw, które chcą utrzymać się na rynku i zdobyć przewagę konkurencyjną, ważne jest sprawne zarządzanie własną organizacją na każdym z zasadniczych poziomów, tj. na poziomie strategicznym, taktycznym i operacyjnym. Wielkie firmy zatrudniają rzeszę ekspertów i specjalistów, aby w każdej chwili odpowiednio reagować i właściwie podejmować decyzje. W procesie podejmowania decyzji wykorzystują również skomplikowane, zintegrowane systemy komputerowe, które nieustannie gromadzą dane i analizują podstawowe obszary funkcjonowania firmy. Budżety tych firm są na tyle duże, że są wstanie opłacać stałych ekspertów, a także zrealizować zakup specjalistycznego, dedykowanego oprogramowania i pozwolić sobie na jego wielomiesięczne wdrażanie.

W sytuacji małych i średnich przedsiębiorstw środki, które można przeznaczyć na te cele są dużo mniejsze, a i przedział czasu, w jakim należałoby implementować systemy wspomagania decyzji, jest krótki. Dlatego małe i średnie firmy nie mają możliwości skorzystania z pomocy znanych i drogich ekspertów. Również zakup i użytkowanie rozbudowanego i skomplikowanego zintegrowanego oprogramowania do zarządzania typu ERP czy programów CRM, mających poprawiać relacje z klientami, jest przeważnie finansowo niemożliwe.

Tak więc firmy te szukają innych rozwiązań, szczególnie w zakresie zarządzania operacyjnego, które mogłyby poprawić ich konkurencyjność w sektorze.

Możemy wyróżnić trzy zasadnicze poziomy zarządzania:
- strategiczny,
- taktyczny,
- operacyjny.

Strategiczny poziom zarządzania jest poziomem, w którym biorą udział nieliczne osoby z grona pracowników firmy. Pracownicy ci, będąc kadrą kierowniczą, wymagają najbardziej zaawansowanych narzędzi analitycznych, z dostępem do wszystkich, powstających w przedsiębiorstwie danych.

Potrzebują też możliwości dostępu do zewnętrznych zasobów informacyjnych (hurtownie danych), aby zapewnić sobie jak najszerszy obraz przy podejmowaniu decyzji oraz formułowaniu strategii, a następnie przy kontrolowaniu jej realizacji. Systemy wspomagania decyzji tego szczebla powinny umożliwiać zbieranie informacji gospodarczej, budowanie strategii, planowanie strategiczne oraz monitorowanie efektywności organizacji. Pomocna byłaby także analiza wskaźnikowa wszystkich obszarów działalności oraz możliwość zarządzania środkami pieniężnymi z uwzględnieniem kontroli dysponowania nimi, a także badanie możliwości ich koncentracji. System umożliwiać powinien prowadzenie obsługi inwestycji kapitałowych i innych aktywów finansowych oraz śledzić płynność finansową przedsiębiorstwa.

Taktyczny poziom zarządzania odzwierciedla pracę zarządzających poszczególnymi jednostkami organizacyjnymi i kluczowymi procesami w firmie; powinien także zapewniać kontrolę nad zarządzaniem informacją w przedsiębiorstwie. Na tym poziomie wykorzystywane są narzędzia wspomagania decyzji, obsługujące procesy tworzenia i uzgadniania planów oraz budżetów w różnych obszarach działalności przedsiębiorstwa. Systemy tego poziomu umożliwiają rejestrację, kto i w jakim momencie procesu podjął decyzję i jakie były następstwa jej podjęcia.

Jest to jeden z ważniejszych elementów usprawnienia i uporządkowania procedur pracy oraz procedur zarządzania, prowadzący w rezultacie do stworzenia przejrzystych schematów odpowiedzialności personalnej, kierunków przepływu informacji i pracy. W konsekwencji możliwa jest obiektywna ocena osiągnięć poszczególnych jednostek organizacyjnych i właściwa weryfikacja wszystkich procesów w przedsiębiorstwie.

Patrząc z ostatnio preferowanego, procesowego podejścia do zarządzania przedsiębiorstwem i odejścia od wspomagania pracy indywidualnej systemami informatycznymi na rzecz pracy grupowej, należy wiązać przyszłość zarządzania taktycznego z automatyzacją procesów informacyjno-komunikacyjnych.

Zadanie to można osiągnąć poprzez łączenie zasad pracy zespołowej z zaawansowanymi środkami technicznymi w celu usprawnienia i automatyzacji procesów komunikowania, przy wykorzystaniu sieciowych technologii informatycznych. Założenia te są podstawą systemów GroupWare – TeamWare, zakładających zarządzanie informacją dla celów podejmowania decyzji w każdej fazie rozwiązywania problemu dzięki intensywnej, wielostronnej komunikacji, prowadzącej do podniesienia jakości pracy zespołu oraz skrócenia czasu podjęcia decyzji. W systemach tych nacisk kładziony jest na wykorzystanie multimedialnej strony systemów informatycznych, połączone z eksploatacją symulacji komputerowej czy posługiwaniem się sztuczną inteligencją, w postaci na przykład systemów ekspertowych czy sztucznych sieci neuronowych.

Innym rozwiązaniem są systemy workflow, w których dochodzi do analizy procesów realizowanych przez przedsiębiorstwo (co sytuować je może na równi z reengineeringiem), a następnie do automatyzacji procesu biznesowego, w całości lub części, podczas którego informacje, a wraz z nią dokumenty i zadania są przesyłane zgodnie ze zbiorem sformalizowanych zasad postępowania od jednego uczestnika do następnego, celem realizacji i podjęcia decyzji.

Operacyjny poziom zarządzania obejmuje podstawowe procesy biznesowe takie, jak:

- zarządzanie finansami (m.in. rachunkowość finansowa, controlling, zarządzanie środkami trwałymi),
- zarządzanie produkcją i logistyką (m.in. gospodarka materiałowa, zaopatrzenie, sprzedaż i dystrybucja, zarządzanie inwestycjami, zarządzanie przedsięwzięciami, szacowanie kosztów, sterowanie zapasami wyrobów gotowych, eksploatacja),
- zarządzanie kadrami i płace.

Dzięki systemom tego szczebla możliwe jest sprawne działanie operacyjne we wszystkich podstawowych działach przedsiębiorstwa oraz pełna integracja wprowadzanych danych, tak aby stanowiły one, z punktu widzenia prowadzonych analiz i podejmowanych decyzji, wartościowy zasób wiedzy.

1.4.4.1. Zarządzanie produkcją i logistyką

Aktualnie, wśród klasycznych technik komputerowego wspomagania zarządzania produkcją takich, jak: programowanie matematyczne, metody sieciowe, sieci kolejek, symulacje, analiza zakłóceń, sieci Petri-ego, metody wykresu Gantta, metody reguł priorytetu itp., coraz częściej pojawiają się próby wykorzystania inteligentnych systemów doradczych wspomagających sterowanie i zarządzanie procesami produkcyjnymi, wypierając tym samym wspomniane metody klasyczne.

Systemy te będą mogły rozwijać się dzięki konsolidacji, polegającej na wspólnym wykorzystaniu systemów ekspertowych, sieci neuronowych, systemów indukcyjnych oraz systemów opartych o algorytmy genetyczne, zbiory przybliżone czy logikę rozmytą. Takie złożone, inteligentne systemy informatyczne, określane jako systemy hybrydowe, są w stanie odwzorować czynniki wpływające na proces zarządzania produkcją, tj. liczebność asortymentu wyrobów, stabilność popytu, długotrwałość cykli produkcyjnych,

liczbę i czasy trwania detalooperacji, strukturę konstrukcyjną wyrobu, stopień złożoności procesu technologicznego, strukturę produkcyjną zakładu, tryb i formę napływu zadań, rodzaj systemu planowania, poziom organizacji przedsiębiorstwa oraz poziom zakłóceń.

Wiele z wyżej wymienionych czynników ma charakter jakościowy, niemożliwy do odwzorowania modelami matematycznymi lub odwzorowanie to jest bardzo trudne.

Dokonując teoretycznej analizy literatury oraz opierając się na własnych doświadczeniach praktycznych, problemy zarządzanie operacyjnego w zakładzie produkcyjnym można podzielić na między innymi następujące zagadnienia możliwe do wspomagania za pomocą systemów inteligentnych:

- problem wyboru asortymentu wyrobów,
- grupowanie stanowisk,
- przydział zasobów pomocniczych,
- kolejność wprowadzania wyrobów,
- przydział operacji,
- harmonogramowanie operacji, rozdziału operacji i korygowania zakłóceń,
- sterowanie zapasami wyrobów gotowych,
- szacowanie kosztów wytwarzania.

Jednym z problemów badawczych w zakresie systemów wspomagania decyzji operacyjnych w zarządzaniu produkcją może być zagadnienie wyboru asortymentu, czyli wydzielenia podzbioru wyrobów spośród wyrobów wykazujących popyt, które powinny być produkowane w nadchodzącym okresie. Kryteriami wyboru mogłyby być: podobieństwo procesów technologicznych, czasy przezbrojeń stanowisk, stopnie obciążenia stanowisk lub inne mierniki, mające zapewnić maksymalne wykorzystanie zdolności produkcyjnych.

1.4.4.2. Zarządzanie finansami

Zarządzanie finansami, obejmujące takie elementy, jak bieżąca ocena finansowa przedsiębiorstwa, rachunkowość finansowa, controlling czy zarządzanie środkami trwałymi, może być w wygodny sposób wspomagane przez inteligentne systemy doradcze.

Przykładem aplikacyjnym może być program oceny finansowej przedsiębiorstwa na podstawie danych ekonomiczno-finansowych, w tym bilansu i rachunku wyników. W wyniku sesji z programem doradczym wystawiana jest ocena o charakterze jakościowym, kwalifikująca przedsiębiorstwo do jednej z grup ryzyka finansowego. Klasyfikacja grup ryzyka dokonywana jest przez system doradczy na podstawie jakościowej oceny płynności finansowej, rentowności oraz zadłużenia, a także wykorzystania kapitałów własnych. Oznacza to, iż końcowa ocena warunków finansowych jest złożeniem ocen cząstkowych poszczególnych warstw analizy. Inteligentny system doradczy może pomagać w opracowaniu ekonomiczno-finansowej oceny rzeczowych przedsięwzięć inwestycyjnych w zakresie doboru odpowiedniej dla analizowanego przedsięwzięcia metody oceny oraz interpretacji otrzymanych wyników.

Dzięki implementacji różnych modułów, zarówno ilościowych, jak i jakościowych, można uzyskać zwiększenie użyteczności systemu poprzez wspomaganie użytkownika, na przykład w opracowaniu danych ilościowych przy rachunku przepływów pieniężnych, związanych z realizacją analizowanego przedsięwzięcia.

Innym obszarem, w którym możliwa jest pomoc inteligentnego systemu doradczego, jest ocena sytuacji na rynku kapitałowym. Od kilku lat znane są programy skutecznego prognozowania cen akcji, wykorzystujące sieć neuronową do prognoz, a system ekspertowy do oceny zależności ryzyko-zysk. Dodatkowo w tych programach może być uwzględniony moduł statystycznej oceny błędów prognozy.

1.4.4.3. Zarządzanie kadrami i płace

W tym obszarze zarządzania, systemy wspomagania decyzji wykorzystywać można przy rekrutacji pracowników jako swoiste narzędzie, weryfikujące cechy kandydatów dla potrzeb przyszłego zatrudnienia.

Zamiast zespołu ekspertów zadanie to może wykonać jedna osoba, dysponująca odpowiednim programem komputerowym, który na zasadzie konwersacji, czyli m.in. poprzez zadawanie kandydatom kolejnych pytań kontrolnych potrafi podać i ocenić profil osobowościowy badanej osoby.

Również ocena pracowników, ich osiągnięć zawodowych, wydajności i kompetencji może być przeprowadzona z wykorzystaniem inteligentnego systemu doradczego w dogodnym terminie i na warunkach sprzyjających rzetelnej opinii.

W sytuacji małych i średnich firm nie jest konieczne korzystanie z usług zewnętrznej firmy doradczej i ponoszenie kosztów każdorazowej oceny. Pieniądze przeznaczone na przygotowanie inteligentnego systemu wspomagającego okresową ocenę pracowniczą ponoszone są tylko raz, a system można wykorzystywać wielokrotnie, nawet do samooceny dokonywanej indywidualnie przez pracowników.

Przy projektowaniu i ciągłym doskonaleniu systemów motywacyjnych i wynagrodzenia w przedsiębiorstwie pojawia się szereg problemów, których rozwiązanie możliwe jest przy wykorzystaniu inteligentnych systemów doradczych:

– kształtowanie klimatu organizacyjnego w oparciu o badania nastrojów pracowniczych i satysfakcji personelu, a także określenie m.in. potrzeb i oczekiwań personelu w zakresie sposobów motywowania;

– ocena efektywności szkoleń poprzez monitorowanie jakości pracy personelu; przy wykorzystaniu systemu doradczego oceniana może być zmiana zachowań po upływie pewnego czasu od zakończenia szkolenia oraz doraźny efekt pracy, a także analizowana korelacja między wynikami komórek a nakładami na szkolenia;

– nadzór nad powiązaniem systemu comiesięcznych ocen wszystkich pracowników oraz ich wyników pracy z wysokością premii, a także koordynacja w przyznawaniu pozamaterialnych bodźców motywacyjnych w firmie, takich jak na przykład wyróżnienia czy pochwały oraz rozstrzyganie konkursów na najlepszego pracownika.

Tak więc wdrażanie inteligentnych systemów doradczych, szczególnie w obszarze zarządzania operacyjnego, w przypadku małych i średnich firm może być podstawą przewagi konkurencyjnej.

Szczególnie godne polecania są systemy o hybrydowej architekturze, które dzięki kooperacji różnych przejawów sztucznej inteligencji z programami przetwarzania ilościowego zastąpić mogą nie jednego eksperta, lecz cały ich zespół. Ponadto są proste w zakupie i implementacji, a także tańsze niż rozbudowane systemy zarządzania typu ERP, szczególnie gdy korzysta się z pakietów szkieletowych, wstępnie przygotowanych przez producenta, a następnie dostosowywanych do wymagań przez pracowników danego przedsiębiorstwa.

Mając do dyspozycji właściwie opracowane inteligentne systemy wspomagania decyzji, decydowanie może przebiegać nie tylko w oparciu o intuicję, doświadczenie i rutynę pracowników, ale również w oparciu o naukowe podstawy, zależności niemożliwe do wychwycenia bez odpowiedniej analizy, oszacowania, których przygotowanie w tradycyjny sposób jest długotrwałe. Wszystko to wpływa na szybkość i trafność podejmowania decyzji, niewątpliwie będąc podstawą przewagi konkurencyjnej.

1.5. Geneza, budowa i obszar zastosowania SE w procesach przygotowania produkcji

W połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego, wieku podjęto drugi etap badań nad sztuczną inteligencją, etap ukierunkowany na próby praktycznego zastosowania rozważań teoretycznych i dotychczasowych osiągnięć. Powstanie bardziej zaawansowanych maszyn obliczeniowych oraz pierwszych komputerów, mających możliwość gromadzenia i przetwarzania dużej ilości informacji, pozwoliło na udaną próbę odwzorowania (przy wykorzystaniu technik sztucznej inteligencji) sposobu rozstrzygania problemów, charakterystycznego dla pracy umysłu eksperta. Stopniowo pojawiły się programy komputerowe, wyspecjalizowane w rozwiązywaniu zadań i stawianiu diagnoz na podstawie wcześniej zgromadzonej wiedzy. Programy te nazwano systemami ekspertowymi, gdyż miały wspomagać lub nawet zastępować ekspertów w ich pracy. Były tak skonstruowane, by ułatwiać podejmowanie standardowych decyzji w wąskim obszarze, którego dotyczyły.

W pełni funkcjonalne systemy ekspertowe zaczęto wykorzystywać na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku. Stanowiły one wówczas nowe narzędzie komputerowego wspomagania procesu diagnostycznego oraz decyzyjnego. Jednym z pierwszych obszarów, którego dotyczyły rozstrzygnięcia systemów ekspertowych, była medycyna (diagnoza chorób na podstawie charakterystycznych objawów), kolejnym konfiguracja i diagnozowanie systemów komputerowych. Z czasem pojawiły się zastosowania systemów ekspertowych w dziedzinach takich, jak ekonomia, finanse czy ubezpieczenia. Ugruntowało to ich pozycje, jako wąsko wyspecjalizowanych inteligentnych programów komputerowych, dających poprawne rozwiązania w sytuacjach, w których wcześniej korzystano tylko z wiedzy, doświadczenia, a niekiedy jedynie intuicji ekspertów.

Zarysowana wówczas wyraźnie tendencja tworzenia systemów o dużym stopniu specjalizacji, uwzględniających w swoim działaniu wszechstronną wiedzę w określonej wąskiej dziedzinie, trwała do końca lat dziewięćdziesiątych XX wieku.

Początek XXI wieku to okres tworzenia systemów o przeważnie interdyscyplinarnej naturze i hybrydowej strukturze, co jest możliwe ze względu na postępujący rozwój techniki komputerowej, pozwalającej na realizację bardziej złożonych projektów oraz z uwagi na powstanie nowych koncepcji w budowie systemów ekspertowych. Współczesne systemy ekspertowe to najczęściej zaawansowane programy komputerowe, których działanie oparte jest na zasadach sztucznej inteligencji. Programy te wykorzystują zgromadzoną wcześniej specjalistyczną wiedzę i doświadczenie ekspertów, a także określone procedury rozumowania do wspomagania i rozstrzygania problemów na tyle trudnych lub skomplikowanych, że do ich rozwiązania wymagana jest pomoc specjalisty w danej dziedzinie.

Wykonując złożone zadania o dużych wymaganiach intelektualnych, systemy ekspertowe sprawdzają się w rozwiązywaniu problemów, których konwencjonalna analiza jest pracochłonna i długotrwała. A co najważniejsze, robią to tak dobrze jak człowiek, będący ekspertem w danej dziedzinie.

1.5.1. Budowa systemów ekspertowych

Definicja systemu ekspertowego określa, że jest to program komputerowy wykorzystujący wcześniej zgromadzoną wiedzę oraz określone procedury rozumowania do wspomagania podejmowania decyzji i rozstrzygania problemów o wysokim stopniu złożoności, których rozwiązanie wymaga specjalistycznej wiedzy eksperta[87], [88] , [89].

Zatem już sama wyżej przytoczona definicja określa pewne elementy, z których powinien składać się każdy system ekspertowy. Elementami tymi są przede wszystkim zgromadzona i ustrukturyzowana wiedza oraz procedury wnioskowania.

---

[87] Chromiec J., Strzmieczna E., *Sztuczna inteligencja – Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994, s. 16

[88] Mulawka J.J, *Systemy ekspertowe*, WNT 1996, s. 20

[89] Pieczyński A., *Reprezentacja wiedzy w diagnostycznym systemie ekspertowym*, Lubuskie Towarzystwo Naukowe w Zielonej Górze, 2003, s. 92

Jednak aby taki system mógł być sprawnie obsługiwany, powinien zawierać również przyjazny moduł komunikacji z użytkownikiem (tzw. interfejs użytkownika), a także (dla celów weryfikacyjnych) powinien umożliwiać przedstawienie uzasadnienia sformułowanej konkluzji.

W pewnych sytuacjach, ze względu na dynamicznie zmieniające się warunki, w jakich ma funkcjonować system ekspertowy, ważne jest zintegrowanie tego systemu z narzędziami do jego budowy. Takie rozwiązanie umożliwia bieżące modyfikowanie systemu według aktualnych potrzeb poprzez rozbudowę zarówno o nową wiedzę, jak i nowe zadania, które powinien on realizować. Jest to szczególnie ważne w praktyce gospodarczej, gdzie zmieniające się przepisy, normy, a także upodobania i wymagania klientów muszą być błyskawicznie uwzględniane we wszystkich aspektach funkcjonowania firmy.

Typowa budowa systemu ekspertowego obejmuje więc cztery podstawowe elementy. Są nimi: baza wiedzy, mechanizm wnioskujący, interfejs użytkownika, oraz moduł objaśnień[90], [91], [92].

- Baza wiedzy jest zbiorem, zawierającym wiedzę i doświadczenie specjalistów oraz ekspertów z danej dziedziny, a także wszelkie inne istotne informacje związane z problematyką, której dotyczy system ekspertowy. Wiedza ta może być zapisana w różny sposób, na przykład w postaci reguł, ram, sieci semantycznych, a także w różny sposób zorganizowana, na przykład podzielona na kilka poziomów (dotyczy to szczególnie rozległych baz wiedzy, potrzebnych dla dużych i skomplikowanych systemów ekspertowych), gdzie zawartość wyższych poziomów określa się jako metawiedzę, czyli „wiedzę o wiedzy".
- Mechanizm wnioskujący to część systemu, kierująca rozwiązaniem problemu. Tak jak umysł ludzki umożliwia wyciąganie wniosków i przetwarzanie informacji oraz dochodzenie do logicznie uzasadnionych decyzji,

[90] Białko M., *Podstawowe właściwości sieci neuronowych i hybrydowych systemów ekspertowych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2000, s. 228-236
[91] Chromiec J., Strzmieczna E., *op. cit*., s. 20
[92] Radomiński E., *Systemy informatyczne w dynamicznej analizie decyzyjnej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław 2001, s. 168

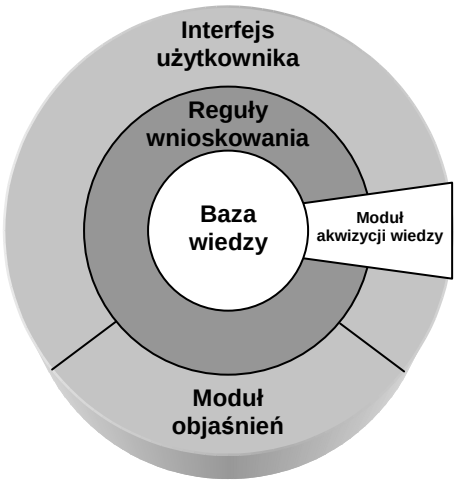
ta część systemu ekspertowego odpowiedzialna jest za poprawne zastosowanie wszystkich poziomów wiedzy, a także za obsługę sytuacji nieprzewidzianych przez twórców systemu na zasadzie sytuacji wyjątkowych. Bez mechanizmu wnioskującego system ekspertowy nie może poprawnie działać, gdyż nie jest w stanie wykorzystać posiadanej wiedzy.

– Interfejs użytkownika jest częścią systemu ekspertowego, umożliwiającą dwustronną komunikację pomiędzy nim a obsługującym go człowiekiem. Zadaniem interfejsu użytkownika jest między innymi umożliwienie wprowadzania danych do systemu, jak również prezentacja konkluzji systemu. Niekiedy (zwłaszcza w systemach ekspertowych czasu rzeczywistego) może istnieć bardzo zredukowany interfejs (na przykład tylko do funkcji pokazującej aktualny stan systemu), nie zmienia to jednak poprawności logicznej podejmowanych działań i wysuwanych konkluzji, choć niewątpliwie wpływa na komfort pracy użytkownika, co w skrajnym przypadku może zniechęcić go do wykorzystywania systemu ekspertowego.
– Moduł objaśnień, który najczęściej jest elementem interfejsu użytkownika, dostarcza uzasadnienia dla rozwiązanego problemu, przyjętego przez system ekspertowy, tzn. wyjaśnia drogę swojego rozumowania oraz uzasadnia otrzymaną konkluzję. Dzięki temu system staje się bardziej wiarygodny dla użytkownika, zwiększając zaufanie do proponowanego rozstrzygnięcia. Bez modułu objaśnień system ekspertowy może poprawnie działać, jednak dla celów kontroli i weryfikacji poprawności funkcjonowania umieszczenie tego modułu jest uzasadnione.

Obecnie systemy ekspertowe zawierają jeszcze jeden element składowy, zwany modułem akwizycji wiedzy (Rys. 1.20)[93]. Zadaniem tego modułu jest wspomaganie pozyskiwania informacji i aktualizacja bazy wiedzy. Za jego pomocą można nie tylko uzupełniać informacje w bazie wiedzy, ale także sprawdzać poprawność syntaktyczną, kompletność i spójność wprowadzanych informacji oraz dokonywać analizy semantycznej istniejących już w bazie zapisów.

[93] Knosala R. i Zespół, *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa 2002, s. 5

Moduł akwizycji wiedzy może występować w postaci odrębnego programu komputerowego lub być wbudowany w strukturę systemu ekspertowego. Obsługiwany jest przeważnie przez specjalnie przeszkoloną osobę, tzw. inżyniera wiedzy.



Rys. 1.20. Schemat budowy systemu ekspertowego

Źródło: Opracowanie własne

Inżynier wiedzy to osoba zajmująca się pozyskaniem wiedzy ekspertów, jej formalizacją oraz implementacją w bazie systemu ekspertowego, tj. zapisaniem za pomocą określonego języka reprezentacji wiedzy[94]. Samą wiedzę można reprezentować w formie symbolicznej oraz niesymbolicznej. Wiedza w postaci symbolicznej, ujmująca związki między obiektami i zdarzeniami, może opierać się na proceduralnym sposobie zapisu – polegającym na określeniu reguł dynamicznie opisujących rozpatrywane zagadnienie lub deklaratywnym – opartym na opisowym, statycznym powiązaniu faktów i stwierdzeń odnoszących się do danej dziedziny.

Reprezentacja niesymboliczna opiera się na elementach sztucznej inteligencji takich, jak sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne czy strategie ewolucyjne, powstałych dzięki obserwacji przyrody i analizie naturalnych zjawisk w niej zachodzących.

[94] Radomiński E., *op. cit.*, s. 183

1.5.2. Klasyfikacja systemów ekspertowych

Ze względu na punkt widzenia potencjalnego użytkownika można zaproponować różne podziały systemów ekspertowych. W pierwszym z proponowanych podziałów dokonuje się rozróżnienia na systemy dedykowane oraz szkieletowe[95]. Szkieletowe systemy ekspertowe (ang. *shell expert systems*) posiadają wszystkie elementy pełnego systemu ekspertowego, tj.:

- interfejs użytkownika,
- reguły wnioskowania,
- moduł objaśnień,
- moduł akwizycji wiedzy
- bazę wiedzy.

Jednakże w systemie szkieletowym, dostarczanym przez producenta, baza wiedzy nie jest wypełniona i należy ją we własnym zakresie uzupełnić treścią, związaną z zagadnieniami przyszłych rozstrzygnięć systemu. Wszystkie pozostałe elementy są przygotowane przez producenta systemu szkieletowego i tym samym gotowe do użycia. Zaletą takich systemów są relatywnie niskie koszty przygotowania, a także krótki czas tworzenia finalnego programu, ponieważ wymagane jest tylko pozyskanie wiedzy i jej odpowiedni zapis w systemie. Ułatwiona jest również sama implementacja, a także zachowanie bezpieczeństwa know-how, gdyż system powstaje przeważnie bezpośrednio w przedsiębiorstwie i jest tworzony przez wybranych, przeszkolonych pracowników, a nie osoby z zewnątrz. W skrajnych przypadkach pozbawia się istniejące systemy baz wiedzy. Powstaje wówczas platforma-szkielet, która po umieszczeniu w niej analogicznie reprezentowanej wiedzy z innej dziedziny tworzy zupełnie nowy system ekspertowy. Przeciwieństwem systemów szkieletowych są systemy dedykowane, stworzone na zamówienie od podstaw i optymalizowane dla konkretnego zagadnienia, którego mają dotyczyć.

[95] Mulawka J.J, *op. cit.*, s. 27

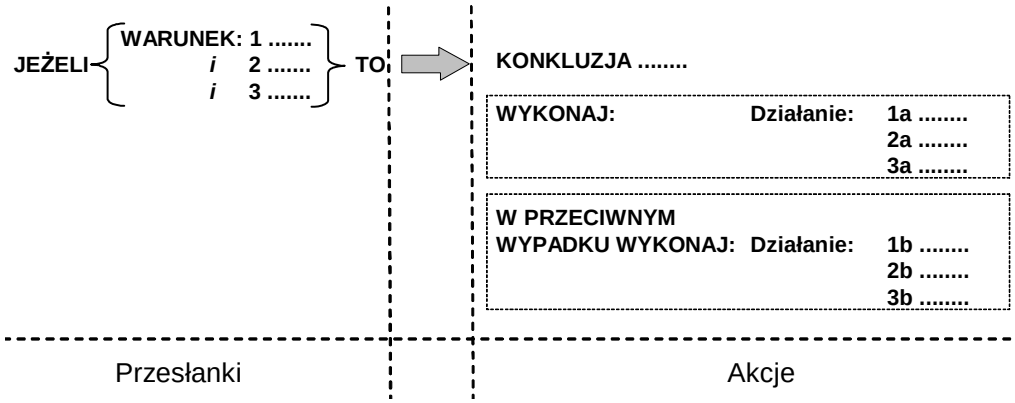
Drugi z proponowanych podziałów opiera się na rozróżnieniu zadań, do których zostały stworzone systemy ekspertowe[96,97]. W związku z tym podziałem można wyróżnić kilka funkcjonalnie różniących się kategorii tych systemów. Są nimi:

- systemy ekspertowe o charakterze doradczym, wspomagające specjalistę w dokonywaniu ekspertyzy, nie zawierające jednak części decyzyjno-wykonawczej. Systemy te przedstawiają rozwiązanie decydentowi, który na podstawie własnej wiedzy i doświadczenia ocenia jego poprawność, a w konsekwencji rozwiązanie to akceptuje go albo odrzuca. Istnieje możliwość uzasadnienia przez system sformułowanej konkluzji. Dodatkowym atutem takich systemów jest możliwość wielokrotnego ich wykorzystywania w celu sprawdzenia możliwych rozstrzygnięć przy zmiennych warunkach stanów wejść systemu.
- systemy ekspertowe o charakterze sterującym to systemy, które na podstawie szczegółowej wiedzy mogą wyciągać wnioski i podejmować decyzje w czasie rzeczywistym, działając w sposób zbliżony do procesu rozumowania ludzkiego, lecz bez udziału człowieka. Systemy te, podejmując decyzje bez udziału czynnika ludzkiego, są dla siebie ostatecznym arbitrem. Wykorzystywane są do sterowania różnymi procesami, do kontroli oraz nadzorowania skomplikowanych maszyn i urządzeń, a więc tam, gdzie człowiek nie mógłby ogarnąć swoimi zmysłami całej sytuacji, albo tam, gdzie udział człowieka-eksperta jest utrudniony lub wręcz niemożliwy.
- systemy ekspertowe o charakterze analitycznym to systemy, które w danym przypadku dokonują analizy problemu i formułują warianty decyzyjne. Mają zdolność do generowania propozycji rozwiązań wraz z opisem przewidywanych skutków ich realizacji. Sprawdzają się w sytuacjach, gdy należy przyswoić dane, dokonać ich przeliczenia, a następnie przeprowadzić selekcję otrzymanych wyników.

Trzeci podział opiera się na rozróżnieniu klasycznych systemów ekspertowych i nowoczesnych systemów ekspertowych o hybrydowej naturze[98].

[96] Pieczyński A., *op. cit.*, s. 93-94
[97] Radomiński E., *op. cit.*, s. 166
[98] Białko M., *op. cit.*, s. 255

Systemy klasyczne bazują na symbolicznej formie zapisu wiedzy, najczęściej w postaci reguł (Rys. 1.21).



Rys. 1.21. Schemat zapisu regułowego w klasycznych systemach ekspertowych

Źródło: Opracowanie własne

W wypadku spełnienia wszystkich warunków konkluzja staje się zdaniem prawdziwym i podejmowane są *Działania 1a, 2a, 3a* itd. Jeżeli przynajmniej jeden z warunków nie jest spełniony, mechanizm wnioskujący systemu ekspertowego, zgodnie z prawami logiki, ustala wartość logiczną reguły *JEŻELI ... TO...* na fałsz i wykonuje *Działanie 1b, 2b, 3b* itd.

Natomiast systemy hybrydowe w swej budowie opierają się na rdzeniu regułowo-proceduralnym, kooperującym z innymi systemami, najczęściej o niesymbolicznej reprezentacji wiedzy, oraz zewnętrznymi aplikacjami w takim stopniu i zakresie, w jakim jest to potrzebne do zwiększenia jego funkcjonalności[99],[100]. Przez większą funkcjonalność należy rozumieć próbę zmiany charakteru dotychczas wąsko wyspecjalizowanych doradczych systemów ekspertowych na prawdziwie interdyscyplinarne systemy wspomagania decyzji.

[99] Simiński R., Wakulicz-Deja A., *Metody programowej realizacji systemów hybrydowych w środowisku PC-Schell*, [w:] Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, tom 2, Wrocław 1997, s. 35-42

[100] Radomiński E., *op. cit.*

Podyktowane jest to potrzebą globalnego i całościowego spojrzenia na niektóre zagadnienia, zwłaszcza na kwestie podejmowania decyzji w procesie zarządzania, gdyż dotychczasowe indywidualne i wycinkowe traktowanie problemów nie sprawdza się w złożonych warunkach współczesnego świata.

W praktyce, odkrycie wysokiej użyteczności tego typu systemów oraz możliwość zastępowania drogich zewnętrznych zespołów ekspertów przez własnych pracowników firmy, posługujących się w podejmowaniu decyzji systemami hybrydowymi oraz pojawienie się na rynku programów komputerowych szkieletowych systemów ekspertowych, za pomocą których każda firma może stworzyć swój własny system doradczy, ostatecznie przesądziło o znacznej popularności hybrydowych systemów ekspertowych. Na sukces ten złożyły się ponadto takie cechy omawianych systemów, jak ich zdolność do wyjaśniania własnych konkluzji czy kompetencje niejednokrotnie większe od pojedynczego eksperta. Ponadto stabilny poziom konkluzji, niezależny od warunków zewnętrznych i czasu pracy systemu wydatnie zwiększa dostępność i jakość rozstrzygnięć. Również możliwość rozwiązywania problemów specjalistycznych, o charakterze jakościowym, w których dużą rolę odgrywa doświadczenie, jest znaczącym walorem w sytuacji, w której wiedza ekspertów to dobro rzadkie i kosztowne.

Implementacja struktur hybrydowych systemu ekspertowego może zachodzić na trzech zasadniczych poziomach:
- bazy wiedzy,
- reguł wnioskowania,
- interfejsu użytkownika.

Poziomy te są zgodne z wewnętrzną strukturą systemu ekspertowego, na którego rdzeniu ma się opierać system hybrydowy (Rys. 1.20).

Implementacja struktur hybrydowych na poziomie interfejsu użytkownika sprowadza się do uwzględnienia w systemie odpowiednich modułów, na przykład eksploracji baz danych lub innych programów, takich jak programy statystycznej obróbki danych.

Prowadzi to do powstania systemu hybrydowego luźno sprzężonego, o kooperacyjnym funkcjonowaniu podsystemów inteligentnych.

W obrębie reguł wnioskowania może dochodzić do uwzględniania struktur innych niż tylko logiczno-proceduralne. W literaturze przedmiotu znane są takie przypadki, jak wykorzystanie sieci neuronowych celem wspomagania interpretatora reguł w wyznaczaniu zbioru reguł konkurencyjnych lub całkowite zastąpienie reguł wnioskowania przez sieć neuronową w systemie realizującym wnioskowanie rozmyte. Systemy takie są silnie sprzężone, o strukturze częściowo pokrywających się lub całkowicie zawierających się w sobie podsystemów inteligentnych.

Integracja różnych elementów systemu hybrydowego na najgłębszym poziomie – poziomie bazy wiedzy – daje najlepsze rezultaty dla funkcjonalności tego systemu, o czym świadczą praktyczne jego zastosowania w dziedzinie ekonomii, na przykład do analizy finansowej i kredytowej. Pomocna w realizacji tego typu systemów jest architektura tablicowa.

1.5.3. Systemy hybrydowe o architekturze tablicowej

Współczesne procesy zarządzania mają złożony charakter. Do podejmowania decyzji w ich zakresie nie wystarczy pojedynczy ekspert. Potrzebnych jest wielu specjalistów, aby z ich cząstkowych opinii stworzyć całościowy obraz danego zagadnienia. Architektura tablicowa jest próbą przystosowania klasycznych, regułowych systemów ekspertowych do rozwiązywania wielowątkowych problemów o interdyscyplinarnej naturze[101]. Dobrze sprawdza się także w budowie systemów hybrydowych.

Architektura tablicowa nie odbiega całkowicie od założeń klasycznych systemów ekspertowych, tzn. ich struktura logiczna opisana jest regułami typu:

[101] Corkill D. D., *Blackboard Systems*, [w:] Ai Expert, nr 6 (9) z 1991, s. 40-47

Jeżeli (...)

oraz (...)

oraz (...) to (...) w przeciwnym wypadku (...).

Jednak reguły te nie opisują wszystkich możliwych ścieżek rozumowania w postaci drzewa decyzyjnego (ang. *decision tree*), jak ma to miejsce w systemach klasycznych, ale stanowią podstawę struktury tablicowej (ang. *blackboard*), w której dochodzi do głównych rozstrzygnięć systemu na podstawie wywołanych źródeł wiedzy (ang. *knowledge sources*), dających rozstrzygnięcia cząstkowe.

Zatem baza wiedzy systemu hybrydowego o tablicowej architekturze nie jest zbiorem wszystkich możliwych reguł, opisujących dane zagadnienie, lecz tablicą zależności, występujących pomiędzy różnymi zagadnieniami, zgromadzonymi w odrębnych źródłach wiedzy (ang. *inference engine*).

Źródłami wiedzy mogą być przy tym inne systemy inteligentne posiadające odrębny mechanizm wnioskujący lub programy obróbki danych, bazodanowe czy statystyczne. Wnioskowanie odbywa się poprzez kolejne wywoływanie źródeł wiedzy, zgodnie z zapisem zależności w tablicy systemu. Wywołane źródła wiedzy dają rozwiązania cząstkowe, na podstawie których system buduje ostateczną konkluzję lub ustala rozwiązanie złożonego problemu. Zastosowanie architektury tablicowej powoduje redukcję liczby wszystkich reguł tylko do tych, zawartych w tablicy głównej systemu oraz w poszczególnych źródłach wiedzy (jeżeli mają one cechy odrębnych systemów ekspertowych). Nie ma redundancji reguł, czyli ich nadmiarowości, związanej z koniecznością opisania wszystkich możliwych ścieżek rozumowania, tak jak ma to miejsce w modelu klasycznym, bez względu na to, czy rozumowanie systemu przebiega w przód, czy w tył. Prowadząc rozumowanie system wykorzystuje reguły tablicy głównej, opierające się na kryteriach odpytywalnych oraz na będących wnioskami innych reguł kryteriach nieodpytywalnych, których wartość logiczna określana jest przez system na podstawie rozstrzygnięć cząstkowych, pochodzących ze źródeł wiedzy.

Reguły dotyczące danego problemu cząstkowego są zapisane tylko raz w źródle wiedzy, które może być uaktywniane wielokrotnie podczas rozumowania głównego systemu tablicowego.

Takie ujęcie funkcjonowania programu jest wysoce efektywne, gdyż przyspiesza jego działanie, obniżając jednocześnie wymagania sprzętowe obsługujących go systemów komputerowych.

Dodatkowo, sama konstrukcja bazy wiedzy wykazuje dużą elastyczność na zmiany stanów otoczenia. Gdy zajdzie konieczność rozbudowy systemu o kolejne źródła wiedzy, nie trzeba budować od nowa bazy wiedzy, lecz jedynie uaktywnić nowe źródła wiedzy, których dodanie nie ma wpływu na funkcjonowanie pozostałych. Natomiast gdy zachodzi konieczność zmiany założeń dotyczących podstaw funkcjonowania systemu, wystarczy zrobić to w obrębie danego źródła wiedzy, którego dotyczą zmiany.

Hybrydowe systemy ekspertowe o tablicowej architekturze, ze względu na ich możliwości, stosuje się do rozwiązywania problemów, w których w celu dokonania rozstrzygnięć potrzebna jest różnorodna i specjalistyczna wiedza, niemożliwa do zapisania jedynie w postaci ilościowej. W przypadku omawianych systemów umożliwia to struktura oparta na niezależnych źródłch wiedzy, z których każde może mieć inny charakter.

Różnice w budowie klasycznych systemów ekspertowych i systemów ekspertowych o tablicowej architekturze najlepiej jest prześledzić na przykładzie. Przykładem takim niech będzie model systemu doradczego wspomagającego decyzje w zakresie sterowania zapasami wyrobów gotowych w produkcji „na magazyn".

Sterowanie zapasami wyrobów gotowych jest jednym z ciągłych procesów podejmowania decyzji, uwarunkowanych zmieniającą się w czasie sytuacją przedsiębiorstwa, mających na celu minimalizację kosztów tworzenia zapasów i ich przechowywania przy zapewnieniu warunków pełnego i terminowego zaspokajania popytu.

Przykładowy system doradczy ma podpowiedzieć decydentowi, czy uruchomić zlecenie produkcyjne w odniesieniu do konkretnego asortymentu produktów. Głównymi kryteriami oceny, na których powinny opierać się rozstrzygnięcia systemu, są kryteria o charakterze ekonomicznym:

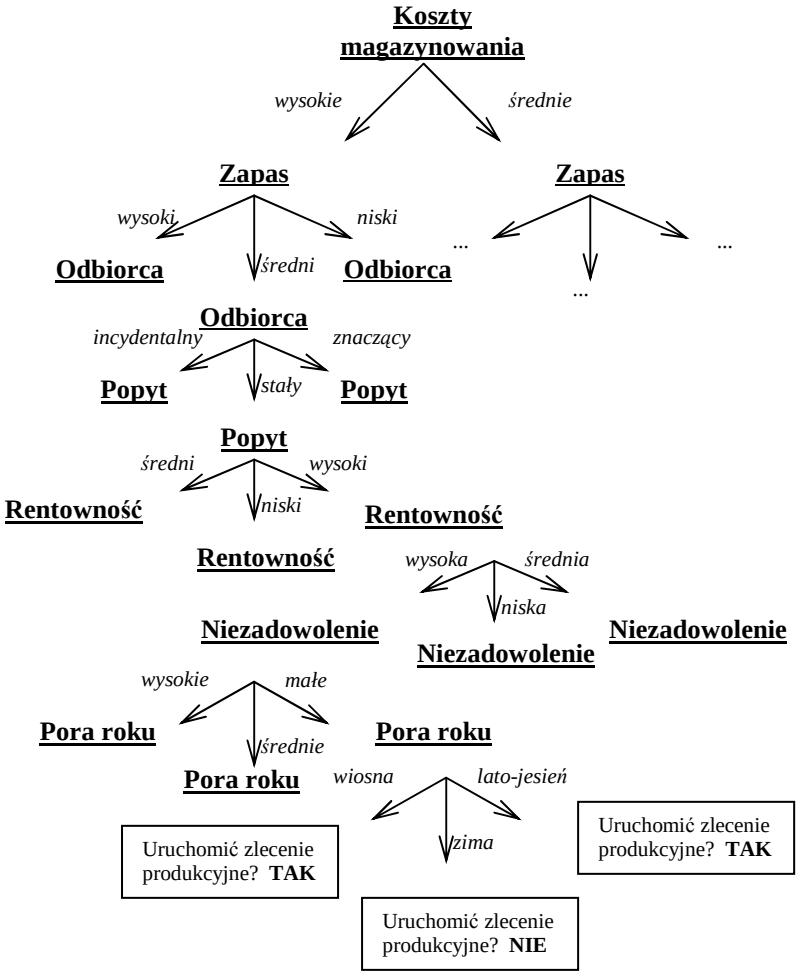
- istniejący zapas,
- występujący popyt,
- rentowność sprzedaży,
- koszt magazynowania.

W pewnych sytuacjach kryteria te są jednak zbyt proste i nie pozwalają na właściwe kształtowanie poziomu zapasów wyrobów gotowych. Dotyczy to przypadków braku dokładnej prognozy popytu na produkty, a także gdy jako kryterium optymalizacyjne należy rozpatrywać czynniki niewymierne, jak niezadowolenie klientów wynikające z braku towaru, rodzaj odbiorcy lub związaną z profilem produkcji sezonowość i wrażliwość na koniunkturę.

Do rozwiązania problemu można zastosować systemy ekspertowe, które dają możliwość deklaratywnej reprezentacji wiedzy. W ujęciu klasycznym, opierając się na wymienionych kryteriach, buduje się bazę wiedzy systemu ekspertowego w postaci regułowej, której graficzną reprezentacją jest drzewo decyzyjne. Konkluzję otrzymuje się, odpowiadając na kolejno zadawane przez system pytania zgodnie ze ścieżkami na drzewie decyzyjnym, rozpoczynając od jego wierzchołka, poprzez wszystkie poziomy aż do najniżej położonych gałęzi.

Analizując drzewo decyzyjne, którego fragment zamieszczono na Rys. 1.22 można zauważyć, iż składa się ono aż z 1458 reguł kończących się konkluzją w sprawie uruchomienia zlecenia produkcyjnego (uruchomić lub nie uruchomić). Część kryteriów, na podstawie których dochodzi do wydania rozstrzygnięcia, to kryteria o charakterze ekonomicznym. Kryteria te w systemie tablicowym można ująć w jedno źródło wiedzy, dające rozstrzygnięcia cząstkowe, dotyczące priorytetu ekonomicznego dla uruchomienia zlecenia produkcyjnego. Priorytet ten określany byłby przez system tablicowy na podstawie odpowiedzi użytkownika na pytania zawarte w źródle wiedzy.

Dla potrzeb niniejszego przykładu określono przedział wartości priorytetu. Są nim liczby całkowite z przedziału od 1 (najniższy priorytet) do 9 (najwyższy priorytet).



Rys. 1.22. Fragment drzewa decyzyjnego modelu klasycznego

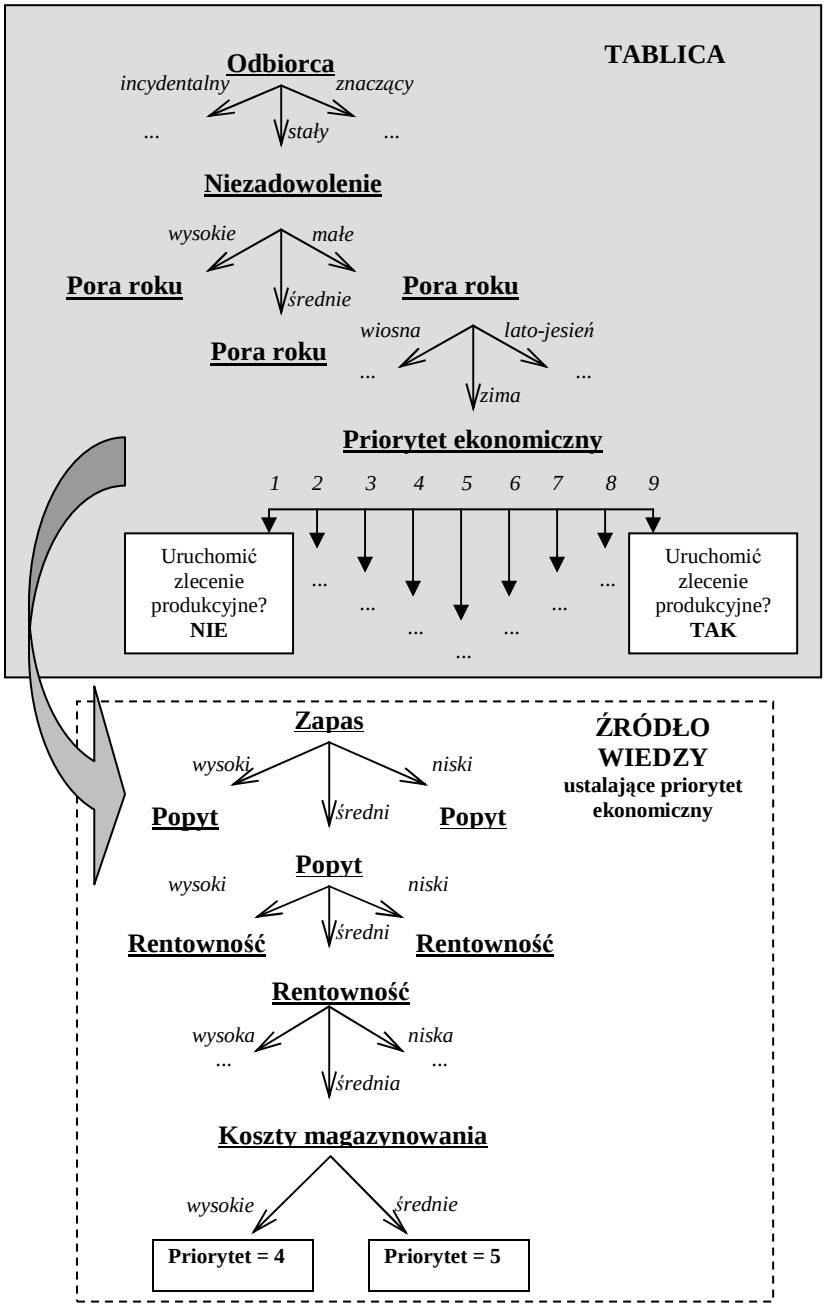
Źródło: Opracowanie własne

Strukturę bazy wiedzy systemu tablicowego dla problemu sterowania zapasami wyrobów gotowych przedstawiono na Rys. 1.23.

Tablicowa koncepcja bazy wiedzy powoduje znaczną redukcję liczby reguł, upraszcza model i czyni go bardziej zrozumiałym, przejrzystym i elastycznym. W przedstawionym przykładzie redukcja objęła znaczną część reguł, pozostawiając tylko 243 reguły występujące w głównej tablicy systemu oraz 54 reguły występujące w źródle wiedzy, posiadającym cechy odrębnego systemu ekspertowego.

Razem w bazie wiedzy sytemu tablicowego jest 297 reguł, tj. 5 razy mniej niż w systemie klasycznym o takiej samej funkcjonalności.

Systemy tablicowe dobrze sprawdzają się również jako zintegrowane narzędzia, nadzorujące niezależne systemy diagnostyczne, a także w sytuacjach, w których źródła wiedzy muszą być rozwijane i testowane osobno.



Rys. 1.23. Fragment struktury bazy wiedzy systemu tablicowego

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowując należy stwierdzić, że systemy ekspertowe, a w szczególności systemy hybrydowe, dzięki rozwojowi techniki komputerowej zyskały nowe, szersze możliwości implementacji w zakresie dynamicznego wspomagania podejmowania decyzji w procesie zarządzania.

Istnieje możliwość budowania kompleksowych systemów doradczych, wykorzystujących architekturę tablicową do reprezentacji wiedzy o całych procesach, a nie o ich jedynie wąsko wyspecjalizowanych wycinkach.

Systemy o architekturze tablicowej są odpowiedzią na konieczność stosowania w zarządzaniu rozwiązań reagujących bezzwłocznie na zmiany, o elastycznej strukturze i możliwościach stałego rozwoju. Są narzędziami dającymi łatwość użytkowania i uaktualniania, w połączeniu z zaawansowanymi możliwościami doradczymi. Są mniej kosztowne w użytkowaniu niż zaangażowanie ekspertów, gdyż wnioskowanie można przeprowadzać dowolną ilość razy, symulować pewne zdarzenia i sprawdzać, jaka będzie reakcja (konkluzja) ze strony systemu ekspertowego, bez angażowania specjalistów. W odróżnieniu od klasycznych programów komputerowych, wiedza zawarta w bazie wiedzy systemu ekspertowego opisuje problemową dziedzinę bez podania szczegółowego algorytmu rozwiązania danego problemu. Dzięki temu jest dużo bardziej czytelna, nawet dla osób nie będących specjalistami w dziedzinie inżynierii wiedzy, ujmuje bowiem merytoryczną, a nie techniczną stronę zagadnienia.

1.5.4. Wspomaganie procesu przygotowania produkcji systemem ekspertowym

Wspomaganie procesu przygotowania produkcji może się odbywać na trzech zasadniczych poziomach:

- sterowania,
- analitycznym,
- decyzyjnym,

co odpowiada podziałowi systemów ekspertowych, zaproponowanym w Rozdziale 1.5.2.

Systemy ekspertowe jako narzędzia sterujące w procesach przygotowania produkcji, a w konsekwencji nadzorujące wytwarzanie, obejmować mogą zadania związane z formowaniem cyklu produkcyjnego[102], na przykład poprzez dobór wielkości partii produkcyjnej, ustalanie harmonogramu produkcji (szeregowanie zadań, przydział zasobów, równoważenie obciążeń) czy sterowanie przepływem produkcji. Potrzeba stosowania systemów ekspertowych wynika z konieczności szybkiej reakcji na pojawiające się w toku produkcji zakłócenia, a także dynamicznie zmieniające się stany wejścia systemu produkcyjnego (nowe zlecenia, zlecenia priorytetowe).

Zastosowanie systemów ekspertowych o charakterze analitycznym może odegrać znaczącą rolę, wtedy gdy istnieje potrzeba szybkiego oszacowania ceny gotowego wyrobu, zakresu realizacji czy czasu dostawy, bez konieczności pełnego rozpracowania technologicznego zamówienia złożonego przez klienta. W wypadku szacowania kosztów wytwarzania pomocne może być udowodnione spostrzeżenie o zależności między podobieństwem konstrukcyjno-technologicznym a kosztami wytwarzania[103].

Tak więc każdy wyrób, którego koszty produkcji należałoby oszacować, porównywany byłby z grupami wytwarzanych w przeszłości wyrobów o znanych kosztach wytworzenia. Porównanie dokonywałoby się w oparciu o reprezentatywny zbiór cech konstrukcyjno-technologicznych. Wyłoniona grupa wyrobów podobnych miałaby również podobne koszty wytworzenia. Pojawiają się tutaj jednak dość ważne aspekty, które decydują o spełnieniu zależności między kosztami wytwarzania a podobieństwem konstrukcyjno-technologicznym. Po pierwsze, przedsiębiorstwo musiałoby dysponować możliwie szerokim zbiorem danych historycznych, dotyczących procesów technologicznych produkowanych wcześniej wyrobów wraz z dokładną kalkulacją ich wytworzenia.

---

[102] Cykl produkcyjny – należy rozumieć jako wymiar czasowy procesu produkcyjnego, tj. łączny czas trwania wszystkich kolejnych transformacji składających się na proces produkcyjny, przekształcających surowce, części i półfabrykaty w gotowy wyrób, wraz z niezbędnymi przerwami wynikającymi z tego procesu.

[103] Ćwikła G., Knosala R., *Szybkie szacowanie kosztów wytwarzania elementów maszyn* [w:] Komputerowo zintegrowane zarządzanie pod redakcją R. Konosali, WNT 1999

Po drugie, należałoby bardzo starannie wybrać istotne cechy konstrukcyjno-technologiczne, które pozwolą na porównywanie wyrobów.

Po określeniu technologii wykonania system ekspertowy musi odnaleźć (odwołując się na przykład do zewnętrznej bazy danych) grupę wyrobów, które już wyprodukowane zostały w oparciu o wybraną technologię.

Najprostszym sposobem określenia przybliżonego kosztu wytworzenia nowego wyrobu jest obliczenie średniej arytmetycznej z kosztów wytworzenia już wyprodukowanych wyrobów z tej samej grupy podobieństwa technologicznego. Jednak nie zawsze takie rozwiązanie, ze względu na swoją prostotę, jest właściwe.

Czasem należy rozbudować ten element funkcjonowania systemu o, na przykład, zespół wag, określających koszt poszczególnych operacji wchodzących w skład jednej grupy podobieństwa technologicznego. Przeważnie jedynie część operacji jest wspólna dla wszystkich wyrobów z danej grupy wyrobów podobnych pod względem technologicznym, pozostałe występują na kilku wyrobach, czasem tylko na jednym. Dlatego system wag kosztowych uwiarygodniłby średni koszt wytworzenia pochodzącego z danej grupy wyrobu.

Posługiwanie się systemem ekspertowym szacowania kosztów wytwarzania wyrobów polegałoby na interaktywnej sesji pytań i odpowiedzi pomiędzy systemem, a obsługującym go pracownikiem z wykorzystaniem interfejsu użytkownika, zgodnie z wewnętrzną logiką zaimplementowaną przez inżyniera wiedzy.

Na podstawie udzielonych odpowiedzi, a także zgromadzonej w bazie wiedzy informacji oraz własnych reguł rozumowania system ekspertowy, w wyniku uruchomienia modułu wnioskującego określałby, do jakiej grupy podobieństwa technologicznego zaliczyć nowy wyrób.

Następnie, w wyniku przeszukania zewnętrznej bazy danych odnajdywałby wyroby z tej samej grupy podobieństwa technologicznego celem obliczenia średniej kosztów ich wytworzenia (średnia arytmetyczna, bądź w przypadku, gdy jest to konieczne, średnia z uwzględnieniem wag dla poszczególnych operacji).

Można przyjąć, że obliczona średnia jest poszukiwaną szacunkową wartością kosztu wytworzenia nowego wyrobu. W przypadku uruchomienia zlecenia produkcyjnego ostatnim etapem byłoby dopisanie do bazy danych rzeczywistego kosztu wytworzenia wyrobu, którego dotyczyły szacunki.

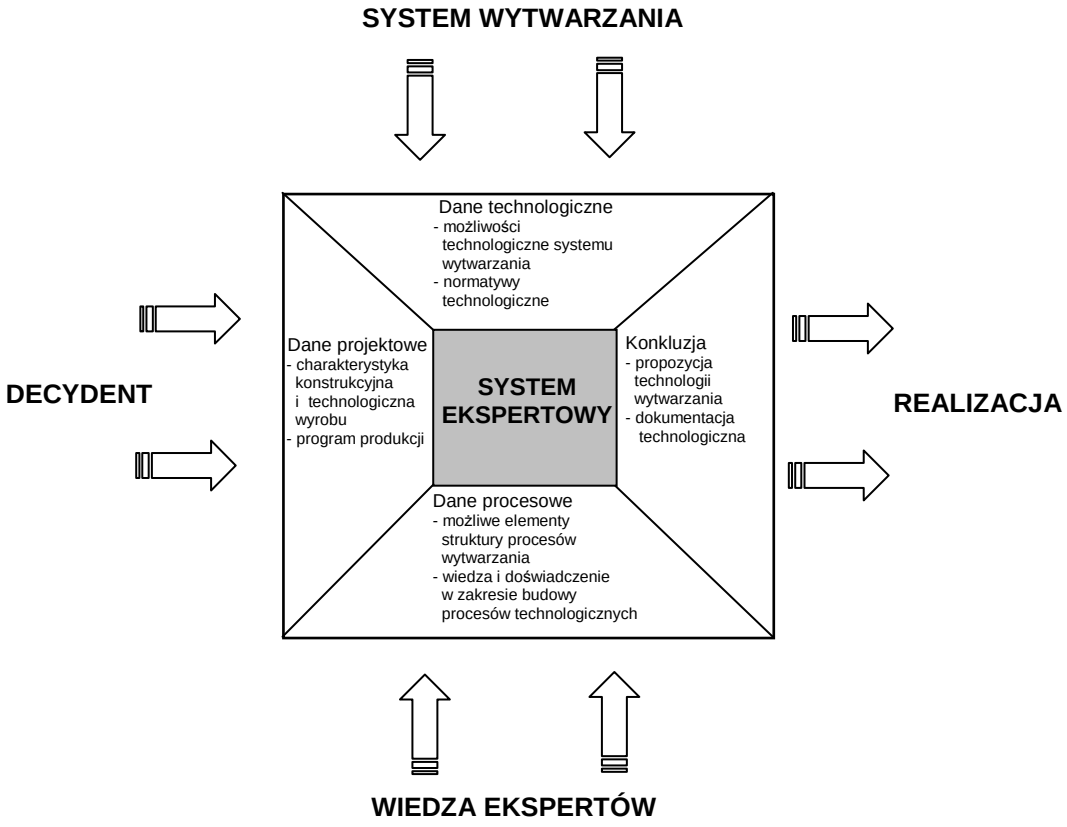
Systemy ekspertowe, posiadające cechy systemów wspomagania decyzji mogą odwzorować oprócz czynników ilościowych także wiele czynników o jakościowym i opisowym charakterze, których odwzorowanie za pomocą modeli matematycznych jest niemożliwe lub bardzo utrudnione. Postępowanie takie jest zgodne z najnowszymi trendami łączenia metod modelowo-symulacyjnych, w tym klasycznych metod numerycznych (ilościowych) z metodami jakościowej oceny rozwiązań.

Również częste występowanie w procesach przygotowania produkcji problemów słabo lub całkowicie nieustrukturalizowanych utrudnia zastosowanie dotychczasowych standardowych programów wspomagania komputerowego. Dodatkowo, możliwość wielokrotnego wykorzystania systemu ekspertowego przy podejmowaniu konkretnej decyzji z uwzględnieniem za każdym razem innych stanów wejścia, daje uniwersalne narzędzie o symulacyjnym charakterze.

Kolejnym atutem jest obiektywizacja procesu podejmowania decyzji, polegająca na pozbawieniu zniekształceń sądów, ugruntowaniu niezależności oceny oraz na poszerzeniu zakresu dokładności konkluzji.

Przykładem doradczego systemu ekspertowego w zakresie przygotowania produkcji może być system doboru technologii wytwarzania[104].

Proces ten powinien być opisany następującymi cechami: bardzo dobrym dostępem do danych historycznych, wystarczającą i niezbędną liczbą kryteriów i ograniczeń technicznych, stosunkowo dużą jednoznacznością rozstrzygnięć na podstawie określonych warunków, a także powtarzalnością sytuacji decyzyjnych (Rys. 1.24).



Rys. 1.24. Schemat doboru technologii wytwarzania wspomaganego systemem ekspertowym

Źródło: Opracowanie własne

[104] Poprzez technologię wytwarzania wyrobu należy rozumieć zestaw operacji produkcyjnych niezbędnych do jego wykonania wraz z określeniem materiału z jakiego wyrób ten ma być wykonany.

Samo rozstrzygnięcie systemu ekspertowego, jaką technologią należy wykonać dany wyrób, sprowadzać się może do zadania klasyfikacji, to jest sytuacji, w której system ma rozpoznać klasę, do której należy obiekt opisany wektorem jednoznacznie określonych cech.

Pojęcie klasy należy przy tym traktować w sposób praktyczny, tzn. taki, w którym jesteśmy w stanie jednoznacznie zdefiniować zbiór klas przed rozpoczęciem procesu rozumowania systemu.

Problem ten można określić jako swego rodzaju klasyfikację wielokryterialną, gdyż każdy obiekt-wyrób można opisać za pomocą wektora cech, a dla każdej cechy określić jednoznacznie zbiór możliwych wartości.

Jednocześnie możliwe jest podanie dla pewnej próby uczącej, obejmującej możliwie szerokie spektrum różnych wyrobów, najkorzystniejszego sposobu wykonania.

Można więc stwierdzić, że wdrażanie inteligentnych systemów wspomagających decyzje, szczególnie w obszarze zarządzania operacyjnego może w przypadku małych i średnich firm produkcyjnych być podstawą przewagi konkurencyjnej na rynku.

Szczególnie godne polecenia są systemy ekspertowe o hybrydowej architekturze, które dzięki kooperacji różnych przejawów sztucznej inteligencji z programami przetwarzania ilościowego zastąpić mogą jednego, a czasem nawet kilku ekspertów.

Hybrydowość obejmować może kooperację również pomiędzy rożnymi elementami sztucznej inteligencji, takimi jak sztuczne sieci neuronowe, algorytmy genetyczne, opierającymi się na niesymbolicznym przetwarzaniu informacji.

Techniki bazujące na łączeniu przetwarzania niesybolicznego, stosowanego dla szerokiej klasy problemów identyfikacji, optymalizacji oraz uczenia, z klasycznymi regałowymi systemami ekspertowymi doprowadziły do stworzenia takich narzędzi hybrydowych, które przy odpowiedniej konstrukcji cechują się większym potencjałem intelektualnym, niż wynika to z funkcjonalności systemów składowych rozpatrywanych osobno.

Dodatkowym atutem jest fakt, że rozwiązanie takie jest tańsze niż rozbudowane systemy zarządzania typu ERP, szczególnie gdy korzysta się z pakietów szkieletowych, wstępnie przygotowanych przez producenta, a następnie dostosowywanych do wymagań danego przedsiębiorstwa przez jego pracowników.

Mając do dyspozycji właściwie opracowane inteligentne systemy wspomagania decyzji, decydowanie w procesie zarządzania przedsiębiorstwem może przebiegać nie tylko w oparciu o intuicję, doświadczenie oraz rutynę pracowników, ale również w oparciu o naukowe podstawy, zależności niemożliwe do wychwycenia bez odpowiedniej analizy, oszacowania, których przygotowanie w tradycyjny sposób jest długotrwałe. Wszystko to wpływa na szybkość i trafność podejmowania decyzji, niewątpliwie będąc podstawą przewagi konkurencyjnej.

Dodatkowo, możliwość wielokrotnego wykorzystywania systemu ekspertowego przy podejmowaniu konkretnej decyzji z uwzględnieniem za każdym razem innych stanów wejścia daje uniwersalne narzędzie o symulacyjnym charakterze.

Należy podkreślić, że wykorzystanie systemu ekspertowego o architekturze hybrydowej szczególnie w zakresie decyzji związanych z procesem przygotowania produkcji, może wpłynąć na skrócenie cyklu tego procesu, daje możliwość przeanalizowania większej liczby przypadków, co w połączeniu z możliwością korzystania z danych historycznych pozwala lepiej dostosować się do potrzeb klientów.

2. MODEL SYSTEMU EKSPERTOWEGO WSPOMAGANIA DECYZJI W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI

2.1. Etapy budowy modelu systemu ekspertowego

Konstruktorem systemu ekspertowego z reguły jest specjalista z zakresu inżynierii wiedzy, współpracujący z odpowiednio wybranym ekspertem reprezentującym dziedzinę, której dotyczyć ma konstruowany system. Inżynierowie wiedzy zajmują się pozyskiwaniem, strukturalizacją i przetwarzaniem informacji pozyskanej od eksperta. Podyktowane jest to koniecznością uwzględnienia całej wiedzy eksperta, jego osobistych doświadczeń związanych z zagadnieniami rozwiązanymi w przeszłości, a także wskazania najlepszych mechanizmów rozstrzygania określonych problemów. W pewnych sytuacjach, przeważnie przy budowie mało skomplikowanych systemów ekspertowych, inżynier wiedzy i ekspert mogą być tą samą osobą. W przypadku dużych i skomplikowanych systemów, przy ich konstruowaniu wymagana jest obecność większej liczby inżynierów wiedzy, a także zespołu ekspertów z dziedziny, której dotyczyć mają rozstrzygnięcia systemu.

W przebiegu prac zmierzających do stworzenia poprawnie działającego systemu ekspertowego można wyróżnić kilka odrębnych etapów.

a) Wstępne rozpoznanie problemu

Etap wstępnego rozpoznania problemu, obejmuje prace przygotowawcze, zmierzające do uzasadnienia celowości wykorzystania technik sztucznej inteligencji w danym zagadnieniu, gdyż w pewnych sytuacjach program napisany w konwencjonalnym języku programowania może być wystarczający dla rozwiązania postawionego zadania, niekiedy znacznie tańszy od systemu ekspertowego. Również gdy zakres zadania jest zbyt słabo określony lub też gdy typ problemu nie sprzyja implementacji, wtedy to konwencjonalne podejście nieuwzględniające technik sztucznej inteligencji, może dać oczekiwane rezultaty.

W etapie wstępnego rozpoznania problemu należy również rozstrzygnąć czy istnieje możliwość przekazania przez eksperta w danej dziedzinie, całej swojej wiedzy oraz doświadczenia niezbędnego do budowy bazy wiedzy i czy koszty z tym związane nie przekraczają budżetu przeznaczonego na realizację systemu. Dopiero po pozytywnej odpowiedzi na wszystkie postawione w tym etapie pytania można przejść do kolejnego kroku w konstruowaniu systemu ekspertowego, to jest do pozyskania (akwizycji) wiedzy.

b) Pozyskiwanie (akwizycja) wiedzy

Pozyskanie (akwizycja) wiedzy jest tym etapem w konstruowaniu systemu ekspertowego, który decyduje o jakości wydawanych przez system konkluzji. Ze względu na to, że użyteczność systemu ekspertowego w zakresie możliwości rozwiązywania postawionego przed nim problemu rośnie wraz z jakością i kompleksowością informacji zawartej w bazie wiedzy, można stwierdzić, że im pełniejszą wiedzą system dysponuje tym łatwiej uzyskuje poprawne rozwiązanie. Dopiero w dalszej kolejności znaczenie odgrywa rodzaj i konstrukcja mechanizmów wnioskowania, których system ten używa.

Procesu akwizycji wiedzy dokonuje inżynier wiedzy, który stara się różnymi metodami zgromadzić wiedzę eksperta oraz poznać sposób w jaki wykorzystuje ją do rozwiązania danego zagadnienia. Pozyskiwanie wiedzy, a w dalszej kolejności jej strukturalizacja, to proces żmudny i czasochłonny, jednak opłaca się w sytuacjach, gdy powstały na bazie zgromadzonej wiedzy system ekspertowy będzie intensywnie wykorzystywany w dłuższym okresie czasu, zastępując człowieka-eksperta w jego normalnej pracy. Zwalnia to właściciela systemu ekspertowego z ponoszenia określonych kosztów, a samego eksperta uwalnia od powtarzania analogicznych standardowych ekspertyz, dając czas na rozwiązywanie problemów na tyle nietypowych, że do ich rozwikłania niezbędna jest na przykład intuicja. Wszystko to oznacza, że systemy ekspertowe mają możliwość rozwiązywania określonych zadań bez bezpośredniego udziału eksperta, jak również dysponowania w ramach jednego systemu wiedzą różnych ekspertów.

Metody pozyskiwania wiedzy dla systemu eksperckiego można podzielić na:
- ręczne,
- wspomagane,
- automatyczne.

Metody ręczne[105] stosuje się przeważnie podczas tworzenia wstępnego modelu systemu ekspertowego. Gromadzone są dane, fakty i informacje niezbędne do określania zakresu działania przyszłego systemu ekspertowego. Zostaje także określona terminologia, w oparciu o którą budowany będzie zbiór komunikatów interfejsu użytkownika. Metoda ta realizowana jest podczas spotkań inżyniera wiedzy z konkretnymi ekspertami. Polega na rejestrowaniu niezbędnych informacji mających znaczenie podczas budowy modelu systemu tak, aby najwierniej odtwarzał rzeczywistość. Powodzenie metody ręcznej zależy od ścisłej współpracy inżyniera wiedzy i ekspertów, którzy muszą w sposób komunikatywny przekazać swoją wiedzę i doświadczenie o danym zagadnieniu.

Nie zawsze jednak można liczyć na pełną współpracę ekspertów, ich wolny czas i predyspozycje w czytelnym formułowaniu odpowiedzi problemowych. Aby zobiektywizować i usprawnić stosowanie metody ręcznej, inżynier wiedzy stosuje następujące techniki:
- *wywiad* czyli dyskusja inżyniera z ekspertami o zagadnieniu, którego dotyczyć mają rozstrzygnięcia przyszłego systemu ekspertowego. Zadaniem inżyniera wiedzy jest kierowanie rozmową w taki sposób, aby eksperci przedstawili istotę problemu, zaprezentowali główne zagadnienia występujące w rozstrzyganym problemie, a także ich własne spostrzeżenia co do sposobów jego rozwiązywania. Ważne są również oczekiwania ekspertów w stosunku do funkcjonowania przyszłego systemu ekspertowego. Najczęściej rozróżniamy: wywiad wstępny oraz wywiady zasadnicze. Podczas wywiadu wstępnego inżynier wiedzy musi zorientować się w zagadnieniu, rozeznać się w specjalistycznej terminologii i zrozumieć jej sens.

[105] Rodwald P., *Metody pozyskiwania wiedzy o wzorcach decyzyjnych dla potrzeb systemów eksperckich*, XVI Krajowe Sympozjum Informatyczne Koła Zainteresowań Cybernetycznych, WAT, Warszawa 2000

Po wywiadzie wstępnym następują wywiady zasadnicze, podczas których powinno się pozyskiwać bardziej szczegółowe informacje od ekspertów, rozstrzygać wątpliwości powstałe podczas wcześniejszych rozmów, a także konsultować dotychczasowe ustalenia i przedstawiać plany przyszłych spotkań tak, aby eksperci mogli się odpowiednio przygotować.

- *analiza dokumentów,* podczas której gromadzone są przez inżyniera wiedzy decyzje i rozstrzygnięcia specjalistów, jak również inne dokumenty zawierające ślady czynności wykonywanych przez eksperta podczas rozwiązywania konkretnego zadania. Na podstawie ich syntezy można pozyskać wiedze o mechanizmach rozwiązywania danego problem przez specjalistów.
- *analiza przypadków* polega na stawianiu przez inżyniera wiedzy do rozwiązania ekspertom szeregu wcześniej specjalnie przygotowanych zadań, a następnie wspólne ich analizowanie i rozstrzyganie. Analiza przypadków pozwala bardziej szczegółowo prześledzić sposób myślenia ekspertów i tok ich postępowania w sytuacji, w której próbują znaleźć najlepsze rozwiązanie. Analizę przypadków stosuje się najczęściej gdy inżynier wiedzy nie jest w stanie na podstawie dokumentacji i rozmów wytyczyć poprawnej ścieżki rozumowania ekspertów i specjalistów w danej dziedzinie.
- *ankiety* stosuje się dla pozyskania wiedzy o danym zagadnieniu od różnych ekspertów lub rzadziej, gdy niemożliwy jest ich bezpośredni udział w spotkaniach z inżynierem wiedzy. Ankietowani mają za zadanie odpowiedzieć na przygotowane wcześniej i umieszczone w odpowiednim kwestionariuszu pytania. Ważne jest aby pytania nie sugerowały odpowiedzi, były jednoznaczne oraz dawały możliwość uzyskania wymaganych przy konstruowaniu przeszłego systemu ekspertowego informacji.
- *„fotografia" dnia roboczego* czyli inaczej wnikliwa obserwacja ekspertów podczas ich normalnej pracy. Zadaniem inżyniera wiedzy jest rejestracja przebiegu dnia roboczego ekspertów, podczas realizowania typowych obowiązków wraz z uwzględnieniem ich potrzeb informacyjnych (niezbędne dane, wykorzystane dokumenty). Inżynier nie ingeruje w przebieg procesu podejmowania decyzji, jedynie go śledzi i rejestruje.

- *„burza mózgów"* zwana również twórczą dyskusją, stanowi niekonwencjonalny aczkolwiek często stosowany sposób zespołowego poszukiwania nowych koncepcji dotyczących metod rozwiązywania problemów. Polega na zgromadzeniu przez inżyniera wiedzy wszystkich pomysłów rozwiązania danego zagadnienia, zgłaszanych w nieskrępowany sposób przez zebranych w jednym miejscu ekspertów, a następnie ich oceny.
- *symulacja* czyli sztuczne wywoływanie pewnych zdarzeń w tworzonym modelu systemu ekspertowego celem sprawdzenia reakcji ze jego strony lub ze strony innych systemów informatycznych z nim współpracujących. Symulacja ma pomóc w zachowaniu poprawności i spójności rozumowania modelu systemu ekspertowego, wykrywaniu odstępstw od właściwego toku procesu dochodzenia do konkluzji, a także dać obraz możliwości jakie będzie posiadał w pełni sprawny system. Pozwala to na naniesienie niezbędnych poprawek, uwzględnienie wcześniej nie zgłaszanych postulatów oraz dostosowanie do wymagań użytkownika finalnego.
- *materiały uzupełniające* w postaci niezależnych opracowań odnoszących się do zagadnień będących podstawą rozstrzygnięć przyszłego systemu ekspertowego, literatura branżowa, poradniki z zakresu tematu oraz normy i przepisy prawne.

Metody wspomagane są metodami, które realizowane są przez inżyniera wiedzy posługującego się modułem akwizycji wiedzy wbudowanym w system ekspertowy lub jego prototypowy model. Polegają na wykorzystaniu wewnętrznych możliwości tworzonego systemu ekspertowego do uzupełnienia faktów w bazie wiedzy, ewentualnej ich weryfikacji pod kątem nadmiarowości lub oczywistych sprzeczności. Innymi słowy metody wspomagane wykorzystywane są przez inżyniera wiedzy podczas kształtowania bazy wiedzy systemu ekspertowego, będącej podstawą przyszłych rozstrzygnięć i konkluzji.

Wśród metod wspomaganych możemy wyróżnić następujące strategie pozyskiwania wiedzy zwane często strategiami uczenia się[106]:

[106] Mulawka J.J, *op. cit.*, s. 98

- *bezpośrednie zapisywanie wiedzy* polegające na wprowadzeniu przez inżyniera wiedzy uzyskanych informacji do bazy wiedzy zgodnie z przyjętą reprezentacja (na przykład w postaci reguł, ram) bez żadnej obróbki ze strony systemu ekspertowego. Często zwana jest metodą „uczenia się na pamięć" bo wprowadzane fakty zapisywane są w bazie bez przekształcenia, a także bez wywoływania reguł wnioskowania.
- *pozyskiwanie wiedzy na podstawie instrukcji,* czyli nabywanie wiedzy przez system ekspertowy, polegające na dodawaniu odpowiednio przetworzonej i akceptowalnie sformułowanej informacji do już istniejącej w bazie wiedzy systemu, dokonywane przy ścisłej współpracy z inżynierem wiedzy, który pełni rolę swoistego nauczyciela. Zadaniem ucznia, czyli systemu ekspertowego jest scalenie istniejącej wiedzy z nowowprowadzoną, tak aby tworzyła logiczną całość z pominięciem nadmiarowości i niespójności.
- *pozyskiwanie wiedzy na podstawie analogii* czyli adaptacja istniejącej wiedzy na potrzeby nowych zadań. Polega na poszukiwaniu analogii między sposobem opisu faktów w istniejącej bazie wiedzy, a możliwością zapisu w ten sam lub podobny sposób informacji, które mają tworzyć nową bazę wiedzy przeznaczoną dla rozwiązywania nowych zadań. Większość działań analitycznych wykonuje nabywający wiedzę system ekspertowy (uczeń) pod merytoryczną kontrolą inżyniera wiedzy (nauczyciel).
- *pozyskiwanie wiedzy na podstawie przykładów* polega na generowaniu przez system ekspertowy informacji, opisującej i systematyzującej pewien obszar wiedzy na podstawie dobranych przez inżyniera wiedzy przykładów i kontrprzykładów, reprezentujący tę dziedzinę, w sposób zapewniający optymalną realizacje procesu pozyskiwania wiedzy.

Metody automatyczne akwizycji wiedzy realizowane są przez wyspecjalizowane moduły systemu ekspertowego lub przez niezależne aplikacje, w sposób autonomiczny bez ingerencji ze strony inżyniera wiedzy. W tym celu wykorzystywane są przeważnie inne elementy sztucznej inteligencji, w postaci na przykład sieci neuronowych, które posiadają zdolność samoistnego ucznia.

Metody automatyczne mogą wykorzystywać również:

– *uczenie indukcyjne,* które polega na znajdowaniu ogólnych zasad, regularności i struktur na podstawie zależności występujących pomiędzy pojedynczymi faktami a sprowadza się do zdobywania wiedzy, która najlepiej opisuje obserwowane fakty i prezentuje zależności wśród nich. Pozyskane w procesie uczenia regularności nie muszą sprawdzać się dla wszystkich przypadków, jednak wymagany jest pewien poziom prawidłowości, który umożliwiłby przewidywanie klasyfikacji dalszych przypadków.
– *uczenie dedukcyjne,* które polega na dowodzeniu nowych tez na podstawie udowodnionych twierdzeń. Sprawdzeniu poddawane są konkretne przypadki w bazie wiedzy (istniejące wnioski i fakty), na podstawie których wyciągane są nowe wnioski.

c) Implementacja (zapisanie) wiedzy

Kolejnym etapem w procesie tworzenia systemu ekspertowego jest implementacja zgromadzonej uprzednio wiedzy. Sposoby implementacji zmierzające do jak najbardziej pełnego odwzorowania, umieszczenia i zapisania wiedzy w systemie, wynikają bezpośrednio z ogólnych metod reprezentacji wiedzy. Wiedza jako zbiór wiadomości z danej dziedziny, powstały na bazie zgromadzonych doświadczeń przy współudziale procesów uczenia się, jest formą kultury umysłowej występującej w świadomości społecznej, składającą się z:

– *faktów,* opisanych za pomocą jednolitego, prostego, wyczerpującego, zwięzłego, zrozumiałego i wyraźnego (tzn. niezawierającego elementów domyślnych i wieloznacznych) języka, w którym określono pewne pierwotne pojęcia i cechy wykorzystywane później do budowy innych skomplikowanych i nie elementarnych składników języka;
– *relacji*, będących odzwierciedleniem zależności i skojarzeń występujących pomiędzy faktami; relacje opierają się najczęściej na heurystycznych[107] regułach kojarzenia odzwierciedlających rozległą wiedzę ekspertów;

[107] Heurystyka jest rozumiana jako umiejętność wykrywania nowych faktów i związków między nimi, dzięki czemu dochodzi do poznania nowych prawd naukowych.

– *procedur*, których wykonywanie odzwierciedla proces myślowy reprezentujący wiedzę w danej dziedzinie (na przykład procedury dowodzenie twierdzeń matematycznych lub procedury zmierzające do obliczenia całki oznaczonej, itp.).

Posługując się przedstawionymi składnikami wiedzy można rozróżnić podstawowe sposoby reprezentacji wiedzy:

– *Reprezentacja deklaratywna* polegająca na określeniu zbioru faktów i reguł specyficznych dla rozpatrywanej dziedziny; jej zaletą jest łatwiejsza formalizacja wynikająca z zwięzłego gromadzenia faktów i reguł (zapisywane są tylko raz);
– *Reprezentacja proceduralna* polegająca na określeniu zbioru procedur, których działanie reprezentuje wiedzę o dziedzinie; jej zaletą jest wysoka efektywność reprezentowania procesów.

Idąc za doświadczeniem specjalistów można stwierdzić, że rozwiązaniem optymalnym jest reprezentacja wiedzy łącząca w sobie cechy reprezentacji proceduralnej i deklaratywnej.

Natomiast sam zapis zgromadzonej i ustrukturyzowanej informacji w bazie wiedzy systemu ekspertowego dokonuje się za pomocą jednego z niżej wymienionych sposobów[108]:
– w oparciu o zapis stwierdzeń (faktów);
– w oparciu o zapis reguł zgromadzonych na zasadzie wektorów wiedzy;
– w oparciu o bezpośrednie stosowanie logiki (rachunek predykatów);
– w oparciu o wykorzystanie sieci semantycznych;
– w oparciu o tzw. ramy;
– w oparciu o metody używające modeli obliczeniowych.

[108] Mulawka J.J, *op. cit.*, s. 45

Wybór techniki zapisania wiedzy w bazie wiedzy systemu ekspertowego uzależniony jest od wielu czynników, z których najważniejszymi są:

- Rodzaj wiedzy wymaganej dla poprawnego funkcjonowania systemu ekspertowego;
- Rodzaj dziedziny, z której wiedza ma być objęta zapisem;
- Wymagania ilościowo - jakościowe tworzonej bazy wiedzy, ze szczególnym uwzględnieniem unikania zbędnego poszerzania bazy;
- Względy techniczne, takie jak rodzaj sprzętu komputerowego, środowisko oprogramowania.

d) Sposoby implementacji wiedzy

Zapis stwierdzeń (faktów) - *w* tym sposobie zapisu głównymi elementami bazy wiedzy są stwierdzenia, obejmujące istotne dla rozpatrywanego problemu fakty z przeszłości i teraźniejszości, ujęte zapisem formalnym o następującej budowie, przypominającej składnię języka programowania PROLOG (patrz Tab. 2.1.):

(właściwość: obiekt: wartość właściwości)

z tym, że właściwość posiada swoją *nazwę* i *charakter*:

Właściwość = charakter właściwości + nazwa właściwości

Prześledźmy powyższą składnię na przykładzie:

Obiekt:	**książka kucharska**
Nazwa właściwości:	**okładka**
Charakter właściwości:	**posiadanie**
Wartość właściwości:	**twarda**
Czyli właściwość =	**posiada okładkę**

a więc zapis ostateczny przedstawia się następująco:

(posiada okładkę: książka kucharska: twarda)

co oznacza, że obiekt, jakim jest *książka kucharska* ma pewną *właściwość*, a to mianowicie taką, że *posiada okładkę*, właściwość ta osiąga wartość: *twarda*.

Gdyby przyjąć, że obiektem jest *książka telefoniczna* to obiekt ten miałby *właściwość*, że: *posiada okładkę*, która to właściwość osiągnęłaby wartość: *miękka*.

W podobny sposób opisuje się wszystkie wytypowane do zapisu w bazie wiedzy obiekty, a następnie bierze się pod uwagę inną właściwość na przykład:

posiada arkuszy drukarskich gdzie:

nazwa właściwości: **arkusze drukarskie**

charakter właściwości: **posiadanie**

i opisuje się od nowa wszystkie obiekty w bazie.

Dla umożliwienia zapisania hipotez lub przypuszczeń, czyli dla umożliwienia zapisania stwierdzeń niepewnych, oprócz nazwy obiektu, właściwości i jej wartości, stosuje się tzw. stopień pewności. Wówczas każdemu stwierdzeniu przypisany jest pewien współczynnik (pochodzący z przedziału na przykład [0,1] lub [-1,1] bądź [0,10] itp.) określający stopień pewności stwierdzenia. Wśród współczynników musi istnieć ten świadczący o fałszywości stwierdzenia oraz ten świadczący o największym stopniu pewności stwierdzenia. Może istnieć współczynnik oznaczający stwierdzenie, o którym nie wiadomo czy jest prawdziwe czy fałszywe.

Prześledźmy to na przykładzie: obiekt *książka kucharska* ma *właściwość* taką że *posiada ilustracje*, która to właściwość może przyjąć wartość: *kolorowe, czarnobiałe* lub *bez ilustracji*. Korzystając ze współczynnika pewności (z przedziału [0,10]) możemy zapisać prawdopodobieństwo zajścia każdego ze stwierdzeń. Ponieważ książka kucharska z kolorowymi ilustracjami występuje najczęściej, więc:

(posiada ilustracje: książka kucharska: kolorowe: 9)

i dalej

(posiada ilustracje: książka kucharska: czarno-białe: 4)

(posiada ilustracje: książka kucharska: bez ilustracji: 1)

Gdyby *właściwość* mogła przyjmować wartość: *trójwymiarowe*, to zapisalibyśmy:

(posiada ilustracje: książka kucharska: trójwymiarowe: 0).

Zapis reguł zgromadzonych na zasadzie wektorów wiedzy - ze względu na fakt, iż zbiory stwierdzeń niejednokrotnie nie wystarczają do opisania wiedzy, często dodatkowym elementem występującym w bazach wiedzy są zbiory reguł.

Reguły zapisane są za pomocą prostych zdań logicznych. Najprostsza reguła zapisana w ten sposób ma postać:

JEŻELI (ang. *IF*) *przesłanka* TO (ang. *THEN*) *konkluzja*

w której przesłanka określa warunki, których spełnienie pozwala na przyjęcie konkluzji. Proste zdania logiczne można łączyć w skomplikowane reguły za pomocą funktorów: *i* (ang. *and*), *lub* (ang. *or*), a także *w przeciwnym wypadku* (ang. *else*), na zasadzie:

jeżeli (*if*)	**przesłanka 1**
i (*and*)	**przesłanka 2**
to (*then*)	**konkluzja 1**
w przeciwnym wypadku (*else*)	**konkluzja 2**.

Same zaś reguły, ze względu na sposób uzyskania ostatecznych konkluzji w procesie wnioskowania można podzielić na:

- *reguły proste* o postaci wniosków pośrednich, nie dających ostatecznych konkluzji; ich zaletą jest łatwość weryfikacji informacji (reguł) oraz ograniczenie jej powtarzania się i nadmiarowości; wadą jest konieczność tworzenia złożonego mechanizmu wnioskującego uaktywniającego wiele reguł;
- *reguły złożone* o rozbudowanej strukturze, umożliwiające bezpośrednie wyznaczenie wniosków przez system; ich zaletą jest to, że nie wymagają skomplikowanego mechanizmu wnioskującego, ponieważ każda reguła zawiera konkluzję będącą wnioskiem końcowym i wystarczy uaktywnić jedną z reguł by otrzymać ostateczny wynik.

Reguły proste zapisane w postaci: JEŻELI *przesłanka* TO *konkluzja* umożliwiają przede wszystkim deklaratywną reprezentację wiedzy. Taka reprezentacja nie umożliwia pełnego i prostego reprezentowania wiedzy o procesach wytwórczych, kolejności wykonywania działań itp.

Aby temu zaradzić postanowiono traktować konkluzję pojawiającą się w wyniku zastosowania reguły jako opis sposobu działania, a nie stwierdzenie.

Tak spreparowaną regułę „działania" należy interpretować jako przepis poprawnego postępowania, któremu nie przysługuje żadna wartość logiczna, pozwala to na znaczne rozszerzenie zakresu możliwych zastosowań reguł, powodujące, że reprezentacja wiedzy przyjmuje charakter reprezentacji deklaratywno-proceduralnej (uznanej przez specjalistów za optymalną).

Wszystkie reguły w bazie wiedzy mogą być zorganizowane w tzw. wektory wiedzy, które są pewnego rodzaju uogólnieniem reguł. W wektorach wiedzy reguły występują w sposób zakodowany z wykorzystaniem odrębnych symboli. Prowadzi to do tego, że aby uzyskać zapis pełnej reprezentacji poszczególnych reguł, nie trzeba wypisywać wszystkich możliwości, ale wystarczy na przykład zestawienie tabelaryczne możliwych przesłanek i odpowiadających im konkluzji zakodowane za pomocą wartości binarnych (na przykład symboli 1 i 0 lub TAK i NIE), odpowiednio dla istnienia lub nie istnienia zależności pomiędzy daną przesłanką a konkluzją. Postać wektorowa reguł jest bardzo wygodna dla weryfikacji poprawności baz wiedzy, jak również umożliwia proste przejście na zapis zawierający pełną treść reguł.

Zapis wiedzy w oparciu o bezpośrednie zastosowanie logiki (rachunek predykatów) - ze względu na to, że formalizm logiczny niesie ze sobą potężny mechanizm wyprowadzania ze zgromadzonej wiedzy nowych informacji, na zasadach indukcji matematycznej oraz gdy całą posiadaną informację możemy wyrazić za pomocą języka logiki, to dla zapisu wiedzy korzystne jest zastosowanie logiki formalnej, a w szczególności rachunku zdań i rachunku predykatów. Umożliwia to przewidzenie granic i możliwości wyprowadzeń indukcyjnych, często pozwalających na zadowalające rozwiązanie zadania.

– *Rachunek zdań* to najprostszy i ogólnie znany system logiczny. W rachunku zdań nie używa się konkretnych zdań, lecz posługuje się tzw. zmiennymi zdaniowymi reprezentującymi zdania. Zmienne zdaniowe to takie zmienne, które po podstawieniu za nie zdań, tworzą zdania złożone przyjmujące jedno z dwóch możliwych wartości logicznych: *prawda* lub *fałsz*.

Zdania złożone (inaczej formuły zdaniowe) buduje się z wyrażeń prostych przy wykorzystaniu spójników logicznych, które w klasycznym ujęciu prezentują się następująco: koniunkcja $\wedge$ (i), alternatywa $\vee$ (lub), negacja $\neg$, (nieprawda, że …), implikacja $\Rightarrow$ (jeżeli …, to …), równoważność $\Leftrightarrow$ (wtedy i tylko wtedy gdy …). Prawdziwość lub fałszywość otrzymanej w ten sposób formuły zdaniowej zależy wyłącznie od prawdziwości lub fałszywości zdań (wyrażeń) składowych.

– *Rachunek predykatów* ze względu na fakt istnienia dogodnego narzędzia, jakim jest język PROLOG, umożliwiającego stosowanie tego rachunku, wydaje się dogodniejszym instrumentem dla zapisu wiedzy, niż rachunek zdań. Rachunek predykatów zwany jest również rachunkiem kwantyfikatorów, ponieważ oprócz zdań prostych do zapisu wiedzy używa również kwantyfikatorów: ogólnego $\forall$ (dla każdego) oraz szczegółowego: $\exists$ (istnieje takie …, że …). Z formalnego punktu widzenia predykat jest funkcją odwzorowującą argumenty predykatu (zwane termami) w wartość logiczną *prawda* lub *fałsz*, co ogólnie zapisujemy w następujący sposób:

nazwa predykatu (argument),

pamiętając, że wyrażenie to przyjmuje wartość w zależności od podstawionego argumentu. Argumentami predykatu (termami) mogą być stałe alfanumeryczne (symbole), numeryczne, a także zmienne lub wyrażenia. Przyporządkowanie termom symboli, a nazwom predykatów relacji miedzy obiektami, definiuje składnię języka predykatów, którego zaletą jest prosta i zrozumiała interpretacja wyrażenia zdań.

Zapis wiedzy z wykorzystaniem sieci semantycznych – jest kolejną, coraz rzadziej używaną techniką reprezentowania wiedzy. Technika ta została opracowana dla stworzenia modelu pamięci ludzkiej, a także w celu rozwiązania problemów związanych z przetwarzaniem mowy, dopiero z czasem zaczęto wykorzystywać ją do budowy systemów ekspertowych.

Sieć semantyczną można uznać za pewnego rodzaju graf, którego węzłami są stwierdzenia (będące kompletnym opisem pojęć lub obiektów), a gałęziami relacje.

Taka budowa sieci idealnie pasuje do definicji bazy wiedzy systemu ekspertowego, mówiącej o zbiorze stwierdzeń oraz relacji występujących pomiędzy nimi. Zwykle jest to graf skierowany (dla pary węzłów określających połączenie istotna jest kolejność w parze), gdyż relacje, jakie sieć przedstawia są przeważnie funkcjami. Węzłom podobnie jak gałęziom, mogą być przypisane wagi określające stopień prawdziwości (słuszności) tych stwierdzeń. Tworzy się, więc pewna struktura powiązań, w której jedne terminy są wyjaśniane przez inne terminy, a każdy element jest zdefiniowany przez inny element. Niemniej jednak sieci semantyczne są narzędziem posiadającym niewiele możliwych konstrukcji nadających się do tworzenia baz wiedzy, a ich budowa wymaga dokładnej analizy wiedzy, gdyż nie dla każdego rodzaju informacji zaprojektowanie sieci semantycznej jest możliwe lub zajmuje odpowiednio więcej czasu i środków niż przy wykorzystaniu innych technik.

Zapis wiedzy w oparciu o tzw. ramy - model reprezentacji wiedzy za pomocą sieci semantycznych napotyka na problem określenia, czy węzły sieci oznaczają pojedynczy obiekt czy pewną klasę obiektów. Pomocne w takim wypadku okazać się może zastosowanie *ram*, które jednocześnie są odpowiednikami obiektów i opisują ich strukturę wewnętrzną. Wtedy sieć semantyczna odpowiada tylko za relacje pomiędzy ramami.

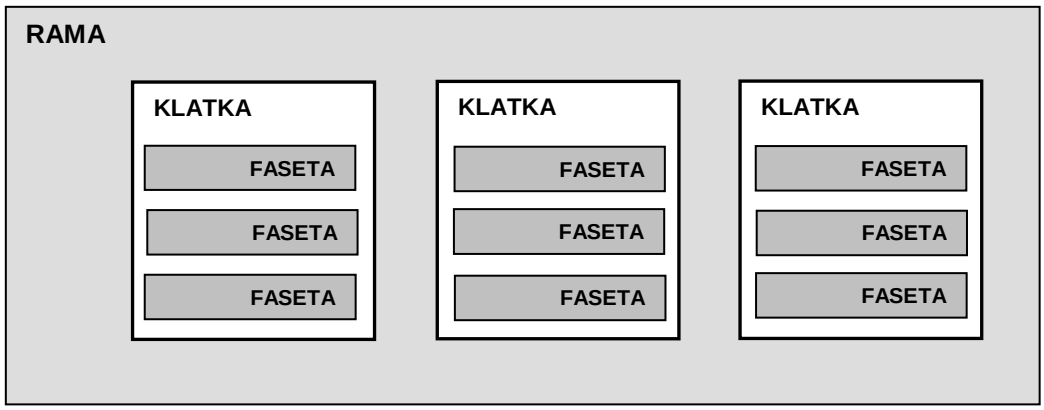
Ramy umożliwiają deklaratywną i proceduralną reprezentację wiedzy. Stwarzają możliwość organizacji bazy wiedzy systemu ekspertowego w taki sposób, że reguły będące reprezentacją wiedzy z danej dziedziny są wyraźnie oddzielone od reguł niezbędnych do poprawnego działania systemu ekspertowego. Istnieje też możliwość grupowania informacji dotyczących wybranego fragmentu wiedzy w postaci jednej ramy, co upraszcza późniejszą weryfikację i ewentualne modyfikacje baz wiedzy.

Rama stanowi strukturę będącą definicją danego pojęcia, określanego dalej jako *obiekt*. Rama posiada swoją *nazwę* i jest złożona z podstruktur zwanych *klatkami* (nazywanych również szczelinami czy slotami). Każda klatka reprezentuje pewną właściwość albo cechę obiektu opisywanego przez ramę.

Klatki mogą dzielić się na mniejsze części tzw. *fasety* zawierające wybrane wartości klatki (Rys. 2.1.). Ramy, klatki oraz fasety identyfikowane są za pomocą przypisanych im nazw, dlatego nie mogą istnieć (dwie lub więcej) różne ramy, klatki i fasety o tej samej nazwie. Tak samo w jednej ramie nie mogą znaleźć się klatki o tej samej nazwie lub w klatce fasety o identycznej nazwie. Możliwe jest natomiast występowanie tych samych klatek w różnych ramach i tych samych faset w różnych klatkach.

Zapis ramowy przypomina trochę budowę baz wiedzy w oparciu o zapis stwierdzeń, w których występował pewien obiekt, a także jego właściwość osiągająca pewną wartość (właściwość: obiekt: wartość właściwości), lecz jest to zapis szerszy, ponieważ wartość zapisana w klatce jest jedną z wielu możliwych elementów.

Każda klatka odpowiada pewnej właściwości danego obiektu zapisanego ramą i jest określonego rodzaju, czyli ma zdefiniowaną dziedzinę wartości, jakie mogą być w niej umieszczane. W zależności od dziedziny wartości zawartych w klatce, istnieją różne rodzaje klatek. To samo dotyczy faset, w zależności od zawartości faset rozróżniamy odmienne ich typy, z tym, że nie wprowadza się żadnych ograniczeń dla typów wartości, mogą one być liczbami, tekstem, piktogramem lub kolejną ramą.



Rys. 2.1. Zapis wiedzy w oparciu o tzw. ramy

Źródło: Opracowanie własne

Istnieje możliwość łączenia ram w strukturę hierarchiczną (drzewiastą), którą można zapisać za pomocą skierowanego grafu-drzewa. Wierzchołkami takiego grafu są ramy, a jego gałęzie określają relacje „podrzędności" ram. Zakłada się, że *relacje podrzędności* oznaczają dziedziczenie własności obiektu, określonego ramą nadrzędną przez obiekt określony ramą podrzędną, bez konieczności powtarzania w ramie podrzędnej tych klatek, które zostały już wcześniej określone. Wprowadzenie mechanizmu dziedziczenia znacznie ogranicza redundancję (nadmiarowość) informacji w bazach wiedzy i wymusza zrozumiałą kolejność pytań zadawanych przez system ekspertowy, co w opinii użytkowników zwiększa wiarygodność systemu jako układu doradczego.

Hierarchiczna struktura ram przypomina programowanie obiektowe, polegające na przedstawianiu wszelkich elementów programu jako obiektów o określonych cechach i zachowaniu. Obiekty mogą być łączone w sieci bądź hierarchie, w których potomkowie dziedziczą cechy przodków, co jest zgodne z ludzkim sposobem systematyzowania świata. Dlatego programowanie obiektowe uważa się za najbardziej naturalne oraz podobne do ludzkiego widzenia świata i coraz częściej wykorzystuje się je w sztucznej inteligencji i systemach ekspertowych.

Podsumowując można stwierdzić, że technika ram umożliwia zapisywanie zarówno wiedzy o charakterze deklaratywnym (wiedzy o faktach) jak i wiedzy o charakterze proceduralnym (wiedzy o regułach). Ramy można stosować do zapisywania sieci semantycznych, co łącznie z możliwością dołączenia do ram procedur, stanowi główną zaletę tego sposobu zapisu wiedzy.

Zapis wiedzy w oparciu o metody używające modeli obliczeniowych - modele obliczeniowe służą do reprezentacji wiedzy potrzebnej do rozwiązywania prostych problemów z dziedzin elementarnych na przykład matematyki, fizyki chemii, itp. Modele obliczeniowe oparte są na sieciach semantycznych, w których węzłami są relacje oraz zmienne. Modele te są szczególnie przydatne do reprezentowania wiedzy dotyczącej możliwości obliczania, czyli wyznaczania wartości zmiennych, na podstawie zbioru operatorów wiążących te zmienne.

Co ciekawe, jeżeli z modelu obliczeniowego usuniemy relację zawierającą *k* operatorów i w zamian dodamy *k* nowych relacji, każda z jednym operatorem, to otrzymamy nowy model o tej samej mocy obliczeniowej. Tak, więc złożone modele możemy sprowadzać do modeli prostych, zawierających jedynie relacje z pojedynczym operatorem. Algorytm rozwiązywania zadań w prostym modelu obliczeniowym polega na kolejnym sprawdzaniu wszystkich operatorów modelu dopóty, dopóki nie natrafimy na operator, który nadaje wartość przynajmniej jednej, dotychczas nie obliczonej zmiennej wyjściowej. Stosując znaleziony operator, otrzymujemy nową wartość, zbliżając się do rozwiązania zadania. Proces powtarzamy aż do momentu znalezienia wszystkich wartości zmiennych wyjściowych zadania. Jeżeli okaże się, że nie można za pomocą dostępnych w modelu operatorów obliczyć którejś ze zmiennych wyjściowych, to oznacza to, że postawionego zadania nie można rozwiązać.

e) Testowanie i ocena systemu ekspertowego

Etap testowania systemu ekspertowego następuje gdy wiedza ekspertów zostanie ostatecznie umieszczona w bazach wiedzy sytemu ekspertowego, a reguły opisujące relacje zachodzące pomiędzy obiektami bazy wiedzy staną się podstawą mechanizmu wnioskującego. Testowanie jest ważne nie tylko ze względów formalnych, mówiących o bezawaryjnej i stabilnej pracy systemu, o braku błędów programowania i implementacji programowo-sprzętowej, ale również ze względu na fakt, iż system ekspertowy powinien zapewnić wysoki poziom wydawanych ekspertyz. W tym sensie możemy mówić o poprawności systemu, jeżeli daje on dobre jakościowo rozstrzygnięcia, rozwiązuje zadania w określonym (dopuszczalnym) czasie i dysponuje mechanizmem umożliwiającym naśladowanie sposobu rozumowania eksperta, wypracowanego w wyniku wieloletniego doświadczenia.

Najprostszym sposobem oceny jakości i poprawności pracy systemu ekspertowego jest porównanie wyników jego działania z rezultatami pracy człowieka. W dobrze zaprojektowanych systemach różnica na korzyść systemów ekspertowych jest wyraźnie widoczna.

W wielu przypadkach są one dużo bardziej dokładne (brak ewidentnych pomyłek), lepsze (mogą przeanalizować więcej przypadków w krótkim okresie czasu) a także szybsze i efektywniejsze (dają rozwiązanie szybciej niż człowiek-ekspert, przy jednocześnie mniejszym, jednorazowym nakładzie środków).

Inną ważną cechą, którą powinien posiadać gotowy system ekspertowy jest zdolność do rozwiązywania obszernej klasy zadań z obszaru, którego dotyczy system, w oparciu o strukturalne podobieństwo reguł wnioskowania. Jednak jakości systemu ekspertowego nie należy rozpatrywać jedynie w kategoriach poprawnego rozwiązywania dobrze określonych i prawidłowo postawionych problemów, ale również w zakresie pewnego rodzaju ekstrapolacji rozwiązania zadania, które bazuje na granicy wiedzy znanej systemowi. Ważne jest również, aby było możliwe otrzymywanie rozwiązań, w przypadku stawiania problemów coraz bardziej wykraczających poza granicę dziedziny działania systemu ekspertowego, aż do momentu zupełnej niewystarczalności reguł wnioskowania.

Ostateczna ocena działania systemu ekspertowego jest trudnym zagadnieniem. Można przedstawić szereg propozycji kryteriów, które należałoby uwzględnić przy ocenie systemu ekspertowego[109]:
- jakość decyzji i konkluzji będących efektem działania systemu ekspertowego,
- efektywność działania,
- przyjazność interfejsu użytkownika,
- poprawność zastosowanych technik rozumowania,
- koszt budowy systemu,
- koszt późniejszej eksploatacji systemu ekspertowego.

Spełnione powinny być też ogólne kryteria dotyczące strony programowej powstałego systemu ekspertowego, ze szczególnym uwzględnieniem**:**
- możliwości funkcjonowania na różnych platformach systemowych,
- ogólnej stabilności i niezawodności,
- możliwości użycia prostego sposobu wprowadzania zmian,
- skuteczności testowania,
- łatwości użytkowania i konfigurowania.

[109] Cholewa W., Pedrycz W., *Systemy doradcze*, Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1447, Gliwice 1987

2.2. Wybór sposobu konstruowania systemu ekspertowego

Wybór sposobu konstruowania systemu ekspertowego dla potrzeb budowy modelu badawczego, jak również innego zastosowania, w tym komercyjnego, determinuje rodzaj tego systemu. Tak więc podejmując decyzję o powstaniu systemu ekspertowego musimy rozstrzygnąć czy będziemy go budować od podstaw w oparciu o specjalistyczne języki programowania (Tab. 2.1), czy z wykorzystaniem systemów szkieletowych (Tab. 2.2 oraz Tab. 2.3).

Tabela 2.1. Ważniejsze języki programowania używane w budowie systemów ekspertowych

Nazwa	Rok powstania	Twórca	Opis
LISP[110]	1958	John McCarthy	LISP (ang. *LISt Processor*) jest językiem programowania zorientowanym na programowanie funkcyjne i opartym na przetwarzaniu list. W odróżnieniu od wielu innych języków, nie ma w nim rozróżnienia między wyrażeniem a instrukcją. Cały kod i dane są zapisywane jako wyrażenia. Kiedy wyrażenie jest wartościowane, tworzy wartość (lub listę wartości), które mogą zostać użyte w innych wyrażeniach. Ponieważ funkcje w LISP są również listami, więc mogą być przetwarzane dokładnie tak, jak dane.
Snobol[111]	1962	David J. Farber, Ralph E. Griswold Ivan P. Polonsky	Snobol (ang. *String Oriented Symbolic Language*) – język programowania opracowany w firmie Bell Labs i popularny w latach 70. i 80. XX wieku, używany przede wszystkim do przetwarzania ciągów znaków za pomocą wyrażeń regularnych. Był często używany do analizowania kompilatorów, gramatyk formalnych, znalazł zastosowanie w sztucznej inteligencji, zwłaszcza tłumaczeniu maszynowym i maszynowym rozumieniu języków naturalnych.

[110] McCarthy J., *Recursive Functions of Symbolic Expressions and Their Computation by Machine*, Part I, Communications Of the ACM, vol. 3, April, 1960, s.184-195

[111] Farber D. J., Griswold R. E., Polonsky I. P., *SNOBOL, A String Manipulation Language*, Journal of the ACM, Vol. 11, No. 1, January 1964, s. 21-30.

POP-1[112] POP-2[113] POP-10 POP-11 POP++	1966 1967 1973 1975	Robin Popplestone Julian Davies Robin Popplestone	Pakiet do programowania interaktywnego (ang. *Package for Online Programming*). Wersje eksperymentalną POP-1 zastąpiła wersja POP-2 w pełni wykorzystująca polską odwrotną notację[114], kolejne wersje wprowadzały działania na stosach, dynamiczne alokowanie pamięci operacyjnej, interaktywność, pojawiły się wersje na różne systemy operacyjne: POPLER, POPLOG, POPTalk, które wykorzystywane były do programowania systemów doradczych.
PROLOG	1971	Robert A. Kowalski Alain Colmerauer Phillipe Roussel	Prolog jest językiem programowania w logice i należy do klasy języków deklaratywnych (opisowych). Jest przeciwieństwem języków imperatywnych (proceduralnych), w których zapisuje się algorytmy. Język ten postrzegany jest jako język wyższego rzędu i akceptowanym w wielu ośrodkach naukowych, co przyczyniło się znacząco do jego popularności.
Scheme[115]	1975	Guy Lewis Steele Jr. Gerald Jay Sussman	Scheme to funkcyjny język programowania, wariant LISP-a, którego główną ideą jest minimalizm. Oznacza to, że sam język zawiera jedynie podstawowe mechanizmy, a na ich bazie, już z użyciem Scheme, tworzone są bardziej zaawansowane rozwiązania.

[112] Popplestone R., *POP-1: An Online Language*, [in:] Machine Intelligence 2, Dale E., Michie D., Publisher: Oliver and Boyd, Edinburgh, September 1966, s. 185-194

[113] Popplestone R., *The design philosophy of POP-2*, [in:] Machine Intelligence 3, Michie D., Publisher: Edinburgh University Press, 1968, s. 393-402

[114] Odwrotna notacja polska (ang. *Reverse Polish Notation*) - jest sposobem zapisu wyrażeń arytmetycznych w którym znak wykonywanej operacji umieszczony jest po operandach (zapis postfiksowy), a nie pomiędzy nimi jak w konwencjonalnym zapisie algebraicznym (zapis infiksowy). Zapis ten pozwala na całkowitą rezygnację z użycia nawiasów w wyrażeniach, jako że jednoznacznie określa kolejność wykonywanych działań. (www.wikipedia.pl)

[115] Sussman G. J., Steele G. L. Jr., *SCHEME: an Interpreter for Extended Lambda Calculus*. Technical Report 349, MIT AI Lab, December 1975

OPS5[116]	1981	Charles Forgy	OPS5 powstał w Carnegie Mellon University na bazie prac Herberta Simona i Allena Newella dotyczących procesu rozwiązywania problemów przez ludzi. OPS5 wykorzystywał regułowy zapis wiedzy typu warunek-działanie (jeżeli… to…) opierając się na algorytmie Rete (ang. *Algorithm Rete*). Był również pierwszym językiem sztucznej inteligencji, który odniósł wymierny sukces komercyjny. Dr John McDermott przygotował bazę reguł do konfiguracji systemów komputerowych VAX dla Digital Equipment Corporation. System ten zwany R1 pierwotnie został zaimplementowany w Lisp'ie. Jednak firma DEC zmieniła nazwę R1 na XCON i przebudowała używających składni OPS5. XCON odniósł duży sukces i zapoczątkował rozwój komercyjnych systemów ekspertowych opartych na OPS5.
Common LISP[117]	1984	Grupa niezależna	Common LISP będąc odmianą LISP-a i w początkowej fazie cenionym językiem programowania zagadnień sztucznej inteligencji zyskał z czasem sławę w tworzeniu narzędzi rapid prototyping stając się obecnie nieoficjalnym standardem w tym zakresie.[118]
IntelliCorp 's KEE[119]	1984	Kehler T. P. Clemenson G. D	KKE (ang. *Knowledge Engineering Environment*) znany jest jako obiektowo zorientowane środowisko inżynierii wiedzy oparte o język LIPS, wykorzystujące jego funkcje i strukturę danych.

[116] Forgy C. L., *OPS5 User's Manual*, Technical Report CMU-CS-81-135, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA 1981

[117] Steele G. L. Jr., *Common Lisp: the Language*, Digital Press, Maynard MA, 1984

[118] Touretzky D.S., *COMMON LISP: A Gentle Introduction to Symbolic Computation*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1990

[119] Kehler T. P., Clemenson G. D., *KEE - the knowledge engineering environment for industry*, Systems And Software, 3(l), January 1984, s. 212-224

LOOKS[120]	1984	Fumio Mizoguchi Hayato Ohwada Yoshinori Katayama	LOOKS (ang. *Logic Oriented Organized Knowledge System)* system reprezentacji wiedzy do projektowania systemów doradczych korzystających z programowania logicznego.
CLIPS[121]	1985	Zespół pracowników NASA	CLIPS (ang. *C Language Integrated Production System*) język opracowany przez NASA (Johnson Space Center) jako język służący tworzeniu systemów ekspertowych. Znalazł on wiele zastosowań w różnych dziedzinach: w rozpoznawaniu obrazów, rozumieniu scen itp. Jest on znacznie prostszy niż Prolog czy Lisp. Mechanizmy wewnętrzne tego języka realizują wnioskowanie w przód. Program napisany w CLIPS stanowi bazę wiedzy złożoną z faktów i reguł. Składnia tego języka jest podobna do składni języka Lisp - wszystkie wyrażenia symboliczne są objęte nawiasami. Powstała również wersja współbieżna o nazwie PCLIPS.

Systemy szkieletowe dają potencjalną możliwość stworzenia funkcjonującego systemu ekspertowego w krótszym czasie i za mniejsze pieniądze niż systemy budowane od podstaw w językach sztucznej inteligencji. Należy jedynie pamiętać, że w systemach szkieletowych wszystkie ważniejsze elementy są wstępnie przygotowane przez producenta, a jedynie baza wiedzy wymaga wypełnienia wiedzą dziedzinową. Stwarza to pewne ograniczenia co do funkcjonowania interfejsu użytkownika, wyboru reguł rozumowania czy sposobu zapisu wiedzy jedynie do tych, które przygotował producent. Jednak analizując ofertę współczesnych systemów z pusta bazą wiedzy można przyjąć, że do większości przypadków w których istnieje potrzeba zastosowania systemu ekspertowego można wykorzystać przynajmniej jeden z oferowanych systemów szkieletowych.

[120] Mizoguchi F., Ohwada H., Katayama Y., *LOOKS: Knowledge Representation System for Designing Expert Systems in a Logic Programming Framework*, In Proc. of the Int. Conf. on 5th Generation Computer Systems, ICOT, Japan, 1984, s. 606-612

[121] Harrington J. B., *CLIPS As a Knowledge Based Language*, Third Conference on Artificial Intelligence for Space Applications, NASA CP-2492, November 2-3, 1987, s. 33-40

Wybór powinien sprowadzać się do określenia cech programu, które są ważne z punktu widzenia przyszłego użytkownika, takich miedzy innymi jak cena, środowisko pracy aplikacji, przenoszalność między równymi platformami, łatwość tworzenia i użytkowania. Po określeniu pożądanych cech aplikacji, wybór nie powinien sprawiać dużego problemu, gdyż wszystkie poważne systemy na rynku posiadają zbliżony poziom funkcjonalności, są dopracowane i bogate w dodatki czyniące proces akwizycji wiedzy szybszym i wygodniejszym, a przez to łatwiejszym niż w przypadku stosowania standardowych języków programowania. Innymi słowy systemy szkieletowe powinny być bardziej osiągalne dla zwykłego użytkownika niż systemy dedykowane.

Podsumowując należy stwierdzić, że systemy szkieletowe dostarczając odpowiedni interfejs do budowy systemu ekspertowego zapewniają:
- narzędzia do akwizycji wiedzy,
- narzędzia do strukturalizacji wiedzy,
- mechanizmy reprezentacji wiedzy,
- instrumenty weryfikacji wiedzy,
- mechanizm wnioskowania.

W niektórych przypadkach występują również udogodnienia przy tworzeniu modułu objaśnień, mającego za zadanie przedstawienie drogi rozumowania i przyczyny podjęcia danej konkluzji. W systemach szkieletowych na ogół nie trzeba znać języka programowania w jakim został on napisany, co umożliwia tworzenie i uaktualnianie bazy wiedzy przez użytkownika końcowego.

Systemy szkieletowe narzucają jednak pewne ograniczenia w tworzeniu gotowego programu ekspertowego. Sprowadzają się one do możliwości jakie daje to narzędzie oraz specyficzny system bazy wiedzy i mechanizm wnioskowania zaprojektowany przez producentów. Zmiany w funkcjonowaniu gotowych interfejsów czy elementów systemu szkieletowego są niemożliwe lub bardzo ograniczone.

Tabela 2.2. Ważniejsze krajowe systemy szkieletowe

Nazwa	Producent/twórca	Możliwości
KeyExpert	Krzysztof Pieńkosz	Pakiet KeyExpert jest prostym w obsłudze, kompletnym systemem ekspertowym realizującym wnioskowanie wstecz, przeznaczonym dla systemu operacyjnego Linux oraz wykorzystującym język XML do zapisu baz wiedzy.
PC Shell	AITech Katowice	System PC-Shell jest systemem szkieletowym o architekturze hybrydowej, czyli łączy w sobie różne metody rozwiązywania problemów i reprezentacji wiedzy. Posiada wbudowany, w pełni zintegrowany, symulator sieci neuronowej. Inną istotną cechą systemu PC-Shell jest jego struktura tablicowa, umożliwiająca podzielenie dużej bazy wiedzy na mniejsze moduły zorientowane tematycznie, tzw. źródła wiedzy. Pakiet komercyjny.
RMSE	Antoni Niederliński	RMSE jest rodziną uniwersalnych szkieletowych hybrydowych systemów ekspertowych, która obejmuje następujące grupy programów: 1.Elementarne dokładne (RMSE_ED), stosujące logikę arystotelowską i nie dopuszczające zagnieżdżania z negacją: zanegowane wnioski nie mogą być warunkami innych reguł. 2.Rozwinięte dokładne (RMSE_RD), stosujące logikę arystotelowską i dopuszczające zagnieżdżania z negacją: zanegowane wnioski mogą być warunkami innych reguł. 3.Elementarne przybliżone (RMSE_EP), stosujące modyfikację stanfordzkiej algebry współczynników pewności (CF) i nie dopuszczające zagnieżdżania z negacją. 4.Rozwinięte przybliżone (RMSE_RP), stosujące modyfikację stanfordzkiej algebry współczynników pewności (CF) i dopuszczające zagnieżdżania z negacją. W obrębie każdej z wymienionych grup możliwe jest wnioskowanie w przód i wnioskowanie wstecz.
Ummon	Grzegorz Goc Marcin Karaśkiewicz Grzegorz Siwek	Ummon jest szkieletowym systemem ekspertowym działającym w środowisku rozproszonym. Jest modułowy i otwarty na dalszą rozbudowę. Docelowo będzie umożliwiał pracę wielu użytkowników, oraz zapewniał efektywne metody wymiany danych ze środowiskiem zewnętrznym. Prace nad systemem Ummon doprowadziły dodatkowo do powstania pakietu AOS udostępniającego obsługę kilku istotnych struktur danych takich jak drzewa, listy czy zbiory. Pakiet AOS wzorowany jest na api systemu AmigaOS.

Źródło: Opracowanie na podstawie materiałów promocyjnych producentów aplikacji

Tabela 2.3. Popularniejsze zagraniczne systemy szkieletowe

Nazwa	Producent/twórca	Możliwości
Acquire	Acquired Intelligence Inc	Jest to kompletny system budowy i konserwacji aplikacji opartych na wiedzy. Ten system szkieletowy zawiera strukturalizacyjne podejście w mechanizmie pozyskiwania wiedzy. Pozwala krok po kroku na strukturalizację, a następnie kodowanie wiedzy. Wiedza reprezentowana jest w postaci obiektowej, a także w postaci reguł postępowania i tabel decyzyjnych.
Decision Script	Vanguard Software Corp.	Jest aplikacją typu serwerowego do tworzenia systemów wspomagania decyzji, posiadającą elementy szkieletowego systemu ekspertowego. Możliwość instalacji jako web-serwera pozwala na stworzenia mocnego wielodostępowego narzędzia o stosunkowo niewielkich aplikacjach klienckich. Wewnętrzny system analityczny pozwala na automatyczne rozpoznawanie reguł biznesowych oraz budowanie systemów ekspertowych wykraczających poza tradycyjne aplikacje wspomagające decyzje. Istnieje funkcjonująca wersja demonstracyjna ograniczona czasowo.
ExSys	ExSYS Inc.	Oprogramowanie ExSys składa się z następujących elementów: ExSys CORVID (program główny) oraz Exsys RuleBooks (program rozszerzający możliwości). Exsys CORVID umożliwia inżynierom wiedzy tworzenie rozbudowanych interaktywnych aplikacji doradczych i publikowanie ich w sieci (Internet, Intranet, sieci bezprzewodowe). System CORVID wyróżnia się logiką opartą na regułach, praktycznym, wydajnym środowiskiem programistycznym, łatwością wdrożenia na wielu platformach systemowych (dzięki zaletom języka Java). System CORVID wzbogaca tradycyjną metodę regułową o obiektowe wykorzystanie zmiennych obsługujących metody i właściwości. Exsys CORRID wykorzystuje bloki logiczne (unikalny sposób definiowania, organizowania i porządkowania reguł w powiązane logicznie bloki zwane u innych producentów tablicami) składające się z jednego lub więcej schematów o strukturze drzewa. W zależności od specyfiki problemu logika może być wyrażona jako złożona struktura z wieloma gałęziami obejmującymi wszystkie możliwe przypadki lub prosty schemat korelujący bloki z kilkoma regułami. W ten sposób pojedynczy blok można tak zorganizować, aby cała logika określonego aspektu problemu została ujęta w jednej strukturze. Otwarty interfejs umożliwia dodanie do mechanizmu wnioskowania niestandardowych funkcji. Istnieje funkcjonująca wersja demonstracyjna ograniczona czasowo.

Expert System Builder (ESB)	Paul C. Caswell	System typu bezpłatnego dla użytkowników edukacyjnych. Zawiera trzy moduły: edytor pytań, akwizycja wiedzy, kreowanie interfejsu użytkownika. Działający system ekspertowy tworzy się za pomocą języka naturalnego. Konkluzje systemu ekspertowego mogą być prezentowane lokalnie lub w Internecie. Istnieje funkcjonująca wersja demonstracyjna ograniczona czasowo.
G2	Gensym Corporation	Jest to graficzne, obiektowo zorientowane środowisko tworzenia inteligentnych aplikacji do monitorowania, diagnozowania oraz dynamicznego kontrolowania zdarzeń w funkcjonującym lub symulowanym środowisku. Wykorzystuje ustrukturyzowany język naturalny do tworzenia reguł, procedur, modeli. Program ma budowę modułową, w której każdy moduł pełni inną funkcję. Posiada wbudowaną możliwość równoległego wykonywania reguł i procedur, a także wizualnego tworzenia aplikacji do zarządzania inteligentnymi procesami. W opcji zaawansowana struktura klient-serwer dla wielu użytkowników dzielących się aplikacjami G2.
Nexpert Object	Neuron Data	Program ten posiada możliwość gromadzenia kompletnej wiedzy z danej dziedziny (ograniczonej jedynie możliwościami sprzętowymi) oraz łatwość jej uzupełniania. Istnieje możliwość wyjaśniania drogi rozumowania i uzasadniania otrzymanej konkluzji. W systemie Nexpert mamy dwie ściśle ze sobą powiązane metody reprezentacji wiedzy: obiektową i regułową. Istnieje możliwość sterowania procesem dziedziczenia od podklas do klas czy też automatyczne uruchamianie metod ustalających wartość żądanego atrybutu. Powiązanie reprezentacji obiektowej z regułową jest realizowane poprzez warunki i konkluzje reguł, będących atrybutami w określonych obiektach oraz poprzez działania, które mogą być komunikatami uruchamiającymi żądane metody. Możliwe jest budowanie reguł, które zarówno w części warunków, jak i konkluzji odwołują się do wszystkich, bądź wybranych podklas danej klasy. Silną stroną systemu Nexpert Object jest mechanizm wnioskujący. Udostępnia on strategie rozumowania "do przodu" "do tyłu" oraz mieszane. Proces wnioskowania może być - krok po kroku - nadzorowany poprzez specjalny edytor graficzny, umożliwiający wizualizację powiązań pomiędzy regułami oraz śledzenie jego stanu.
XpertRule	Attar Software USA	Program pracujący w środowisku graficznym, w którym reprezentacja wiedzy występuje w postaci drzew decyzyjnych, tabel zawierających przykłady decyzji oraz ustalonych wzorców reguł. Potrafi zapisać gotowy projekt w języku C. Zawiera ponadto elementy optymalizacji jak algorytmy genetyczne oraz fuzzy logic.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów promocyjnych producentów aplikacji

Dla potrzeb opracowania systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji analizowano systemy szkieletowe produkcji krajowej oraz systemy producentów zagranicznych. Wydaje się, że niektóre produkty krajowe w tej dziedzinie są niejednokrotnie bardziej aktualne i wykorzystują najnowsze trendy, co odbywa się niestety kosztem jakości i funkcjonalności interfejsów, skrótowym opisem funkcji, czy problemami ze współpracą z aplikacjami zewnętrznymi.

Aplikacje zagraniczne posiadają wyskoki poziom użyteczności, dopracowane, przyjazne i intuicyjne interfejsy, bogatą literaturę opisującą zagadnienia instalacji, użytkowania i konserwacji, a także serwis techniczny dostępny dla użytkowników on-line lub telefonicznie. Mimo tych zalet występują kłopoty ze współpracą z polskimi aplikacjami lub aplikacjami zagranicznymi w polskiej wersji językowej.

Ze względu na fakt posiadania przez Wydział Zarządzania Akademii Górniczo-Hutniczej licencji na dwa programy będące szkieletowymi systemami ekspertowymi to jest Nexpert Object firmy Neuron Data z USA oraz PC Shell[122] firmy AiTech z Katowic, wybór narzędzia do opracowania systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji musiał dokonać się między tymi dwoma programami. Ostatecznie wybrano system PC Shell przegotowany przez polską firmę AiTech ze względu na obsługę ogólnie dostępnego systemu operacyjnego Windows XP (Nexpert Object dostosowany jest do obsługi starszej i niepopularnej już wersji Windows 3.x), a także możliwość wykorzystania struktury tablicowej pozwalającej na podzielenie dużej bazy wiedzy na mniejsze moduły zorientowane tematycznie, czyli tzw. źródła wiedzy. Dodatkowym atutem polskiego programu jest możliwość wykorzystania architektury hybrydowej, czyli łączenia różnych metody rozwiązywania problemów i reprezentacji wiedzy, a także łatwego powiązania ich z zewnętrznymi aplikacjami takimi jak pakiety statystyczne, arkusze kalkulacyjne, bazy danych. Nie bez znaczenia jest również renoma w środowisku akademickim, którą potwierdza długa lista referencyjna użytkowników z pośród technicznych i ekonomicznych uczelni w Polsce.

[122] Kiełtyka L. (red.), *Multimedia w zarządzaniu*, WWZPCz, Częstochowa 2002, s. 69-73

2.3. Zakres funkcjonowania systemu ekspertowego

Dane do budowy modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji pozyskano w drukarni, firmie z sektora małych i średnich przedsiębiorstw. Drukarnia jest specyficznym zakładem pracy, w którym większość zleceń realizowana jest na indywidualne zapotrzebowanie klienta. Dodatkowo, za każdym razem zlecenie jest przygotowywane od nowa, gdyż rzadko zdarzają się wznowienia lub identyczne zamówienia.

Podczas przygotowania odpowiedzi na zapytanie ofertowe, pojawia się szereg problemów decyzyjnych, których rozstrzygnięcie rzutuje na przebieg procesu produkcyjnego, w wyniku którego powstają wyroby. W zależności od sposobu wytwarzania kształtuje się również cena ostateczna wyrobu, która jest jednym z najważniejszych czynników, na podstawie której klient dokonuje wyboru z pośród różnych ofert.

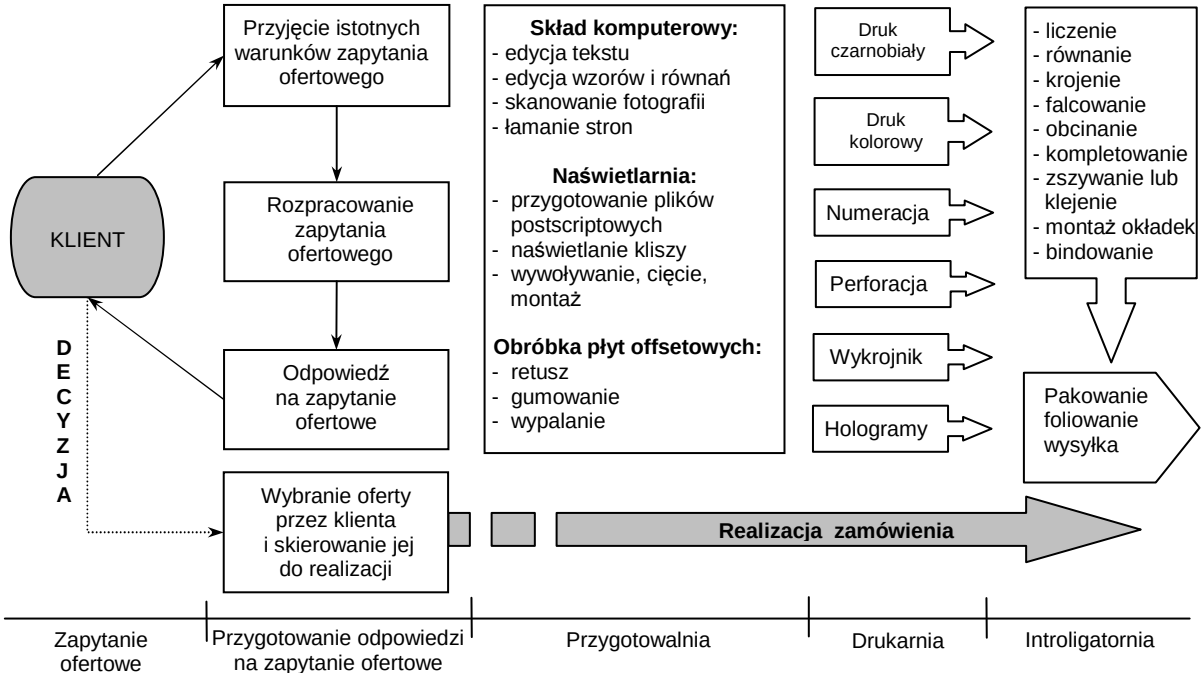
Ważny jest również czas przygotowania samej odpowiedzi na zapytanie ofertowe i jej koszt. Długi czas oczekiwania na odpowiedź może zniechęcić klienta, a wysoki koszt jej przygotowania, w sytuacji gdy oferta nie zostanie wybrana powoduje powstanie strat w przedsiębiorstwie.

Ze względu na konieczność przygotowania ofert w krótkim okresie czasu niezbędne staje się wykorzystanie narzędzi wspomagających proces szybkiego określania parametrów procesu produkcyjnego, będących podstawą do wyznaczenia ceny przyszłego wyrobu. Narzędzia te na podstawie istotnych parametrów podanych przez klienta co do produktu jaki chce otrzymać, wskazywałyby najwłaściwszy przebieg procesu produkcyjnego w sposób nie wymagający zaangażowania dużych nakładów (to jest czasu, środków i ludzi czyli na przykład wielu specjalistów) oraz przybliżony koszt realizacji danego zamówienia.

a) etapy procesu produkcyjnego

W omawianym problemie badawczym proces produkcyjny składa się zasadniczo z trzech głównych etapów realizowanych przez odpowiadające im działy, to jest przygotowalni, drukarni i introligatorni (Rys. 2.2.).

Przygotowalnia realizuje skład komputerowy obejmujący łamanie stron, skanowanie fotografii i edycję tekstu oraz wzorów (matematycznych, chemicznych itp.). Przygotowane prace w postaci plików postscriptowych są naświetlane (nanoszone za pomocą naświetlarki na film), a następnie wywoływane, cięte i montowane w celu przygotowania płyt offsetowych. Przygotowalnia zajmuje się również obróbką płyt offsetowych (retusz, gumowanie lub wypalenie).



Rys. 2.2. Etapy procesu produkcyjnego w drukarni

Źródło: Opracowanie własne

Drukarnia zajmuje się drukiem arkuszy czarnobiałym lub kolorowym z przygotowanych płyt offsetowych na papierze offsetowym lub kredowym, z uwzględnieniem nanoszenia numeracji, perforacji, wykrojnika, hologramów. Druk może być realizowany na różnych urządzeniach w zależności od wymagań wyrobu końcowego.

Introligatornia realizuje szeroki zakres czynności związanych z obróbką wydrukowanych arkuszy i przekształcenie ich w gotowe wyroby takie jak książki, broszury, ulotki, gazety i czasopisma, druki akcydensowe. Tak więc do zadań introligatorni należy: liczenie, równanie i krojenie arkuszy, załamywanie arkuszy do formatu wyrobu (falcowanie), obcinanie naddatków, kompletowanie składek i ich zszywanie (nićmi) lub klejenie, a także montowanie okładek papierowych lub częściowo- i całopłóciennych. Wykonuje się również przetłoczenia rowkowe kartonu (bigowanie) celem łatwiejszego zginania się na przykład okładek książek lub zaproszeń, jak również perforowanie umożliwiające między innymi łatwiejsze odrywanie kuponów od biletów lub montaż oprawy bindowej (bindowanie). W ramach funkcjonowania introligatorni realizuje się proces pakowania w paczki z szarego papieru lub zgrzewane folią oraz przygotowania do wysyłki gotowych wyrobów.

b) problemy decyzyjne

Problemy decyzyjne pojawiające się na etapie przygotowania produkcji w omawianej drukarni można podzielić na trzy grupy.

Do pierwszej grupy zaliczyć można problemy decyzyjne związane z koniecznością określenia parametrów procesu produkcyjnego zapewniającego otrzymanie wyrobu gotowego zgodnie z zamówieniem klienta, a także maszyn i urządzeń, na których ten proces będzie realizowany. Dodatkowo, gdy klient tego nie określi, należy dobrać odpowiedni rodzaj materiału, z którego powstanie wyrób finalny (między innymi dobrać należy rodzaj i gramaturę papieru, gatunek farb drukarskich).

Do drugiej grupy przynależą problemy szybkiego oszacowania kosztów realizacji zamówienia na podstawie wybranej technologii produkcji, to znaczy podania przybliżonej ceny jednostkowej wyrobu przy określonym nakładzie. Niedoszacowanie może spowodować stratę na zleceniu, a zbyt duże przeszacowanie doprowadzić do rezygnacji klienta i braku realizacji zlecenia.

Do trzeciej grupy problemów włączyć można zagadnienie określenia długości cyklu produkcyjnego dla danego wyrobu, co przy znajomości aktualnie realizowanych zleceń pozwoli określić przybliżony czas zakończenia produkcji w odniesieniu do danego zlecenia. Ważne jest aby czas ten był zbliżony do czasu realnego, to jest uwzględniającego typowy przebieg procesu produkcyjnego z wymaganym zapasem, wynikającym z przezbrojeń urządzeń drukarskich oraz niezbędnego mycia zespołów farbowych.

c) decydowanie z użyciem systemu ekspertowego

Wykorzystanie systemu ekspertowego w decydowaniu podczas realizacji procesu przygotowania produkcji w omawianej drukarni odbywać się będzie w etapie przygotowania odpowiedzi na zapytanie ofertowe. Schemat postępowania uwzględnia udział klienta lub jego przedstawiciela w sesji pytań i odpowiedzi realizowanej w oparciu o sprzęt komputerowy z zainstalowanym systemem ekspertowym.

Pytania zadawane przez program dotyczyć mają istotnych kwestii związanych z cechami wyrobu, na podstawie których można dobrać sposób jego produkcji. System ekspertowy posługując się własną, sztuczną inteligencją, prowadzić będzie ciąg pytań, w taki sposób aby na podstawie minimalnej liczby odpowiedzi uzyskał konkluzje co do parametrów procesu produkcyjnego zamawianego wyrobu, a w konsekwencji jego szacunkowej ceny oraz przybliżonego terminu realizacji. Fizyczna obecność osoby składającej zamówienie w siedzibie drukarni nie jest konieczna. Sesję pytań dopowiedzi można zrealizować przy użyciu aktualnie istniejących środków komunikacji głosowej.

Przeprowadzić ją również można w siedzibie klienta wykorzystując przenośny sprzęt komputerowy z zainstalowanym systemem ekspertowym. Można też wykorzystać zapytanie złożone na piśmie, przetwarzając jego treść na odpowiedzi stawiane przez system ekspertowy.

d) rozstrzygnięcia systemu ekspertowego

System ekspertowy, którego zadaniem będzie wspomaganie decyzji w procesach przygotowania produkcji w drukarni, a przez to usprawnienie i skrócenie czasu obsługi klienta odnośnie zapytania ofertowego ma rozstrzygać na podstawie sesji pytań i odpowiedzi w niżej przedstawionym zakresie:

- Rodzaju i przebiegu procesu produkcyjnego, to jest rozpoznanie oraz dopasowanie sposobu produkcji, użytych maszyn i urządzeń, materiału który ma zostać zadrukowany (chyba że klient z góry go określi), a także rodzaju farb drukarskich. Zasadniczo możliwe są dwie sytuacje otrzymania konkluzji przez system ekspertowy. Pierwsza z nich to sytuacja, w której system ekspertowy odnajdzie na podstawie wprowadzonych danych najodpowiedniejszy proces produkcyjny oraz wskaże maszyny i urządzenia do jego realizacji. Natomiast w przypadku gdy niemożliwe jest określenie sposobu produkcji, system ekspertowy ma zakomunikować ten stan podpowiadając możliwe ścieżki rozwiązania problemu, na przykład poprzez ponownie przeprowadzenie rozumowania w oparciu o nowe dane wyjściowe.
- Kosztu produkcji uwzględniającego ilość sztuk, określonego na podstawie pracochłonności procesów produkcyjnych, wynikającej z normatywów lub na podstawie podobieństwa do określonej grupy wyrobów, podobnych pod względem technologicznym o znanym koszcie produkcji. Pierwszy ze sposobów wymaga rzetelnie przygotowanych normatywów dla poszczególnych czynności składowych, standardowych procesów produkcyjnych z uwzględnieniem wskaźników zwiększających lub zmniejszających wymiar czasowy normatywów, w zależności od stopnia trudności lub dodatkowych ponad standardowych wymagań.

Drugi sposób ustalania kosztów wymaga posiadania obszernego zbioru danych historycznych o wyprodukowanych wyrobach, ich koszcie (ewentualnie przeliczonemu na wartość aktualną) oraz sposobie produkcji.

e) aktualizacja systemu ekspertowego

Jedną z ważniejszych funkcji każdego systemu ekspertowego jest możliwość aktualizacji bazy wiedzy, na podstawie której system dokonuje rozstrzygnięć. Również system wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji powinien posiadać możliwość zmiany zapisanej wiedzy, a także poszerzania jej o nowe informacje. W omawianej drukarni mogą pojawić się trzy sytuacje, które warunkowałyby konieczność zmian w bazie wiedzy systemu ekspertowego lub jej uzupełnienia:

- Sytuacja pierwsza, w której należałoby uzupełnić bazę wiedzy ze względu na zmiany inwestycyjne, to jest zakup nowych maszyn i urządzeń rozszerzających możliwości produkcyjne, a także zatrudnienie nowych pracowników powodujące skrócenie czasu realizacji zadań.

- Sytuacja druga, w której należałoby dokonać zmian w bazie wiedzy ze względu na ograniczenia w zakresie produkcji powstałe ze względu na zaniechanie realizacji pewnych procesów produkcyjnych (wyeksploatowanie określonych maszyn, uszkodzenia niemożliwe do naprawy lub nieekonomiczne, sprzedaż określonych maszyn ze względu na śladowe zainteresowanie klientów wyrobami powstającymi na tych maszynach) lub ograniczenie potencjału produkcyjnego, na przykład poprzez odejścia na emeryturę nie uzupełnione przez rekrutacje.

- Sytuacja trzecia, w której zmiany wynikałby ze znacznych ruchów cen surowców, zmiany stawki godzinowej pracowników lub zmian przepisów, na przykład podatkowych, skarbowych lub celnych.

f) środowisko funkcjonowania systemu ekspertowego

System ekspertowy jako narzędzie wspomagające decyzje w procesach przygotowania produkcji drukarni będzie musiał funkcjonować w trzech zasadniczych miejscach, w zależności od sytuacji w jakiej ma powstać odpowiedź na zapytanie ofertowe.

Podstawowym miejscem funkcjonowania systemu ekspertowego będzie Dział Zamówień, który w głównej mierze odpowiedzialny jest za opracowanie odpowiedzi na zgłaszane przez klientów zapytania ofertowe. System ekspertowy jako aplikacja komputerowa wymaga zainstalowania na komputerze typu IBM PC z systemem operacyjnym MS Windows. Po instalacji będzie uruchamiany w celu przeprowadzenia sesji pytań oraz odpowiedzi kończącej się konkluzją. Samo rozumowanie systemu ekspertowego dokonuje się w pamięci operacyjnej komputera, na podstawie wprowadzonych z klawiatury danych. Wyniki wyświetlane na monitorze można dla celów dokumentacyjnych wydrukować. Do obsługi programu wystarczy jedna osoba z podstawową znajomością obsługi komputera oraz zagadnień, których dotyczyć mają konkluzje systemu ekspertowego.

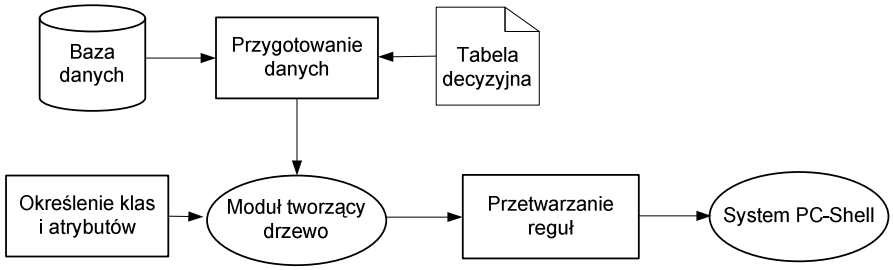
Drugą możliwością wykorzystania systemu ekspertowego, dającą większą elastyczność w reagowaniu na potrzeby klientów, jest instalacja na komputerze przenośnym, zabieranym na spotkania biznesowe poza siedzibę przedsiębiorstwa. Pozwala to na opracowanie odpowiedzi na zapytanie ofertowe bezpośrednio u klienta. Klient ma możliwość sprawdzenia od razu różnych wersji swojego zapytania i wybrania tego rozwiązania, które spełnia jego oczekiwania w najwyższym stopniu.

System ekspertowy mógłby również być wykorzystywany przez zarząd firmy do celów symulacyjnych, sprawdzania konkurencyjności własnej oferty w porównaniu z ofertami konkurencji. Stanowiłby narzędzie pozwalające na prześledzenie różnych wariantów ofert pojawiających się na rynku w odniesieniu do własnego przedsiębiorstwa oraz znalezieniu mocnych i słabych jego stron.

2.4. Opracowanie systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji

a) zebranie i wstępne opracowanie danych

Opracowując model systemu ekspertowego nacisk położono przede wszystkim na zapewnienie dużej elastyczność w pozyskiwaniu danych, na podstawie których tworzone jest drzewo decyzyjne. Moduł odpowiedzialny za przygotowanie danych może bowiem pobierać dane zarówno od ekspertów, na przykład w postaci tabeli decyzyjnej, lub też z systemu ewidencjonowania produkcji za pośrednictwem narzędzi relacyjnych baz danych. Na rysunku 2.3. zaprezentowany został schemat tworzenia reguł decyzyjnych wykorzystywanych następnie przez system PC-Shell jako baza wiedzy systemu ekspertowego.



Rys. 2.3. Schemat tworzenia reguł dla systemu PC-Schell

Źródło: Opracowanie własne

W rozważanej firmie nie został wdrożony zintegrowany system zarządzania produkcją, zatem dane dla systemu ekspertowego zostały pozyskane od zespołu technologów i zapisane w formie tabeli decyzyjnej. Z uwagi na rozbudowaną postać ostatecznej tabeli decyzyjnej podzielono ją na trzy części ze względu na rodzaj wyrobu. Każda tabela została zapisana w postaci deterministycznej tablicy binarnej. Wiersze 1–15 określają wartości jakie mogą przyjąć poszczególne atrybuty, charakteryzujące zamawiany wyrób. W wierszach 16–28 podane zostały maszyny i stanowiska przez jakie musi przejść określony wyrób, czyli jego ścieżka technologiczna. W kolumnach zawarte zostały możliwe kombinacje parametrów opisujących wyroby, określone przez technologów.

Tabela 2.4. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji książek

ilość kolorów	1 kolor	1			1			1			1		
	2 kolory		1			1			1			1	
	wielobarwne			1			1			1			1
oprawa	miękka bezszwowa	1	1	1									
	miękka szyta nićmi				1	1	1						
	twarda bezszwowa							1	1	1			
	twarda szyta nićmi										1	1	1
	zszywana drutem												
	okładka klejona												
	sztuki												
	bloki klejone												
	bloki szyte drutem												
inne	średni nakład												
	duży nakład												
	offset												
technologia	studio graficzne												
	urządzenie do naświetlania PS												
	naświetlarka do filmów Quasar												
	naświetlarka do offsetowych CTP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	stół montażowy												
	kopiogram												
	urządzenie do druku cyfrowego												
	Roland 200												
	Roland 300		1	1		1	1		1	1		1	1
	Heidelberg Printmaster	1			1			1			1		
	Heidelberg Printmaster z przyst.												
	Ecoprint												
	Heidelberg do złoceń i tłoczeń												
	falcerka	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	klejenie ręczne												
	krajarka POLAR												
	urządz. zbierająco-szyj. Muller												
	zbieraczka do leg	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	oklejarka ANIGO	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	zszywarka nićmi				1	1	1				1	1	1
	colbus							1	1	1	1	1	1
	urządz. do opr. twardej Rodas							1	1	1	1	1	1
	pakowarka MOSCA												
	pakowanie ręczne												
	trójnóż	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	maszyna do numerow. Victoria												
	masz. do szycia drutem jednogł.												
	maszyna offsetowa B1 planeta												

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2.5. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji czasopism

ilość kolorów	1 kolor	1				
	2 kolory					
	wielobarwne		1	1		
oprawa	miękka bezszwowa					
	miękka szyta nićmi					
	twarda bezszwowa					
	twarda szyta nićmi					
	zszywana drutem	1	1	1		
	okładka klejona				1	1
	sztuki					
	bloki klejone					
	bloki szyte drutem					
inne	średni nakład					
	duży nakład			1		1
	offset					
technologia	studio graficzne					
	urządzenie do naświetlania PS					
	naświetlarka do filmów Quasar					
	naświetlarka do offsetowych CTP	1	1	1	1	1
	stół montażowy					
	kopiogram					
	urządzenie do druku cyfrowego					
	Roland 200					
	Roland 300		1		1	
	Heidelberg Printmaster	1				
	Heidelberg Printmaster z przyst.					
	Ecoprint			1		1
	Heidelberg do złoceń i tłoczeń					
	falcerka	1	1	1	1	1
	klejenie ręczne					
	krajarka POLAR					
	urządz. zbierająco-szyj. Muller	1	1	1		
	zbieraczka do leg					
	oklejarka ANIGO				1	1
	zszywarka nićmi					
	colbus					
	urządz. do opr. twardej Rodas					
	pakowarka MOSCA					
	pakowanie ręczne					
	trójnóż				1	1
	maszyna do numerow. Victoria					
	masz. do szycia drutem jednogł.					
	maszyna offsetowa B1 planeta					

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2.6. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji druków numerowanych

ilość kolorów	1 kolor	1		1				1		1		1			1					1		1			
	2 kolory		1		1				1		1		1			1					1		1		
	wielobarwne					1	1							1			1	1	1					1	1
oprawa	miękka bezszwowa																								
	miękka szyta nićmi																								
	twarda bezszwowa																								
	twarda szyta nićmi																								
	zszywana drutem																								
	okładka klejona																								
	sztuki	1	1	1	1	1	1																		
	bloki klejone							1	1			1	1	1				1							
	bloki szyte drutem									1	1				1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
inne	średni nakład																								
	duży nakład			1	1	1						1	1	1	1	1	1					1	1	1	
	offset																								
technologia	studio graficzne																								
	urządzenie do naświetlania PS																								
	naświetlarka do filmów Quasar																								
	naświetlarka do offsetowych CTP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	stół montażowy																								
	kopiogram																								
	urządzenie do druku cyfrowego																								
	Roland 200																								
	Roland 300						1										1	1							1
	Heidelberg Printmaster	1	1					1	1	1	1								1	1					
	Heidelberg Printmaster z przyst.			1	1	1						1	1	1	1	1	1					1	1	1	
	Ecoprint																								
	Heidelberg do złoceń i tłoczeń																								
	falcerka																								
	klejenie ręczne							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
	krajarka POLAR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	urządz. zbierająco-szyj. Muller																								
	zbieraczka do leg																								
	oklejarka ANIGO																								
	zszywarka nićmi																								
	colbus																								
	urządz. do opr. twardej Rodas																								
	pakowarka MOSCA			1	1	1						1	1	1	1	1	1					1	1	1	
	pakowanie ręczne	1	1				1	1	1	1	1							1	1	1	1				
	trójnóż																								
	maszyna do numerow. Victoria																								
	masz. do szycia drutem jednogł.									1	1				1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	maszyna offsetowa B1 planeta																								

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2.7. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji druków akcydensowych

| | | |

b) strukturalizacja pozyskanej wiedzy i budowa bazy wiedzy

Jak wspomniano wcześniej, system ekspertowy wspomagający decyzje w procesie przygotowania produkcji został zbudowany w oparciu o szkieletowy system PC Shell. Począwszy od wersji 3.0 tego programu w systemie zawarty jest moduł o nazwie DeTreex, umożliwiający tworzenie drzew decyzyjnych i ich zapis w postaci reguł. W zaproponowanym systemie do budowania drzew decyzyjnych wykorzystano jednak dodatkowy moduł oparty na algorytmie C4.5[123].

Drzewem decyzyjnym będziemy nazywać graf-drzewo, które przy właściwym doborze wartości atrybutów pozwala na określenie klasy, do której przynależy obiekt. Korzeniem drzewa jest uprzednio konkretnie wybrany atrybut. Kolejne węzły drzewa są dalej wybieranymi atrybutami w następnych iteracjach. Liście drzewa definiują klasy. Jest to ogólna koncepcja algorytmu ID3, który został opracowany przez Quinlana.

W przedstawianym systemie moduł tworzący drzewo decyzyjne wymaga odpowiedniego przygotowania danych do analizy. W przypadku wykorzystania aplikacji DeTreex należy przygotować pojedynczy plik tekstowy z rozszerzeniem *.lrn*. Atrybuty i przykłady uczące należy zapisać w układzie kolumnowym, z wartościami rozdzielonymi spacjami lub znakami tabulacji.

W pierwszym wierszu pliku określa się rodzaj atrybutu: wejściowy lub wyjściowy (zwykle określany mianem klasy), w drugim nazwę (dla atrybutów nienumerycznych poprzedzoną znakiem #), a kolejnych przykłady uczące.

W zaproponowanym systemie klasy (atrybuty wyjściowe) wyznaczane są poprzez możliwe ścieżki technologiczne, a atrybuty stanowią parametry opisujące zamówienie. Za przygotowanie tych danych odpowiedzialny jest zespół technologów.

[123] Quinlan J. R.: *Improved use of continuous attributes in C4.5*. Journal of Artificial Intelligence Research, No. 4, 1996, s. 77-90

Fragment pliku ze zbiorem uczącym pokazany został na rysunku 2.4.

```
we          we              we                 we          wy
#typ_druku  #ilosc_kolorow  #oprawa            #inne       #technol
ksiazka     1_kolor         miekka-bezszwowa       ?       t1
ksiazka     2_kolory        miekka-bezszwowa       ?       t2
ksiazka     wielobarwne     miekka-bezszwowa       ?       t2
ksiazka     1_kolor         miekka-szyta_nicmi     ?       t3
ksiazka     2_kolory        miekka-szyta_nicmi     ?       t4
ksiazka     wielobarwne     miekka-szyta_nicmi     ?       t4
ksiazka     1_kolor         twarda-bezszwowa       ?       t5
ksiazka     2_kolory        twarda-bezszwowa       ?       t6
ksiazka     wielobarwne     twarda-bezszwowa       ?       t6
ksiazka     1_kolor         twarda-szyta_nicmi     ?       t7
ksiazka     2_kolory        twarda-szyta_nicmi     ?       t8
ksiazka     wielobarwne     twarda-szyta_nicmi     ?       t8
```

Rys. 2.4. Fragment pliku wejściowego dla modułu DeTreex

Źródło: Opracowanie własne

Modyfikacja klas i atrybutów wykonywana jest tylko wtedy, kiedy nastąpią zmiany w parku technologicznym lub pojawią się nowe produkty. Na podstawie przygotowanej tabeli decyzyjnej można wyznaczyć 37 klas technologii (ścieżek technologicznych), które zostały pogrupowane ze względu na rodzaj druku.

Tabela 2.8. Zestawienie technologii produkcji książek

klasa	ścieżka technologiczna
t1	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + falcerka + zbieraczka do leg + oklejarka ANIGO + trójnóż
t2	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + falcerka + zbieraczka do leg + oklejarka ANIGO + trójnóż
t3	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + falcerka + zbieraczka do leg + oklejarka ANIGO + zszywarka nićmi + trójnóż
t4	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + falcerka + zbieraczka do leg + oklejarka ANIGO + zszywarka nićmi + trójnóż
t5	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + falcerka + zbieraczka do leg + oklejarka ANIGO + colbus + urządz. do opr. twardej Rodas + trójnóż
t6	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + falcerka + zbieraczka do leg + oklejarka ANIGO + colbus + urządz. do opr. twardej Rodas + trójnóż
t7	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + falcerka + zbieraczka do leg + zszywarka nićmi + colbus + urządz. do opr. twardej Rodas + trójnóż
t8	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + falcerka + zbieraczka do leg + zszywarka nićmi + colbus + urządz. do opr. twardej Rodas + trójnóż

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2.9. Zestawienie technologii produkcji czasopism

symbol	ścieżka technologiczna
t9	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + falcerka + urządz. zbierająco-szyj. Muller
t10	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + falcerka + urządz. zbierająco-szyj. Muller
t11	naświetlarka do offsetowych CTP + Ecoprint + falcerka + urządz. zbierająco-szyj. Muller
t12	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + falcerka + oklejarka ANIGO + trójnóż
t13	naświetlarka do offsetowych CTP + Ecoprint + falcerka + oklejarka ANIGO + trójnóż

Źródło: Opracowanie własne

Tabela 2.10. Zestawienie technologii produkcji druków numerowanych

symbol	ścieżka technologiczna
t14	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + krajarka POLAR + pakowanie ręczne
t15	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster z przyst. + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA
t16	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + krajarka POLAR + pakowanie ręczne
t17	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowanie ręczne
t18	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowanie ręczne + masz. do szycia drutem jednogł.
t19	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster z przyst. + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA
t20	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster z przyst. + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + masz. do szycia drutem jednogł.
t21	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowanie ręczne
t22	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowanie ręczne + masz. do szycia drutem jednogł.
t23	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster + krajarka POLAR + pakowanie ręczne + masz. do szycia drutem jednogł.
t24	naświetlarka do offsetowych CTP + Heidelberg Printmaster z przyst. + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + masz. do szycia drutem jednogł.
t25	naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + krajarka POLAR + masz. do szycia drutem jednogł.

Źródło: Opracowanie własne

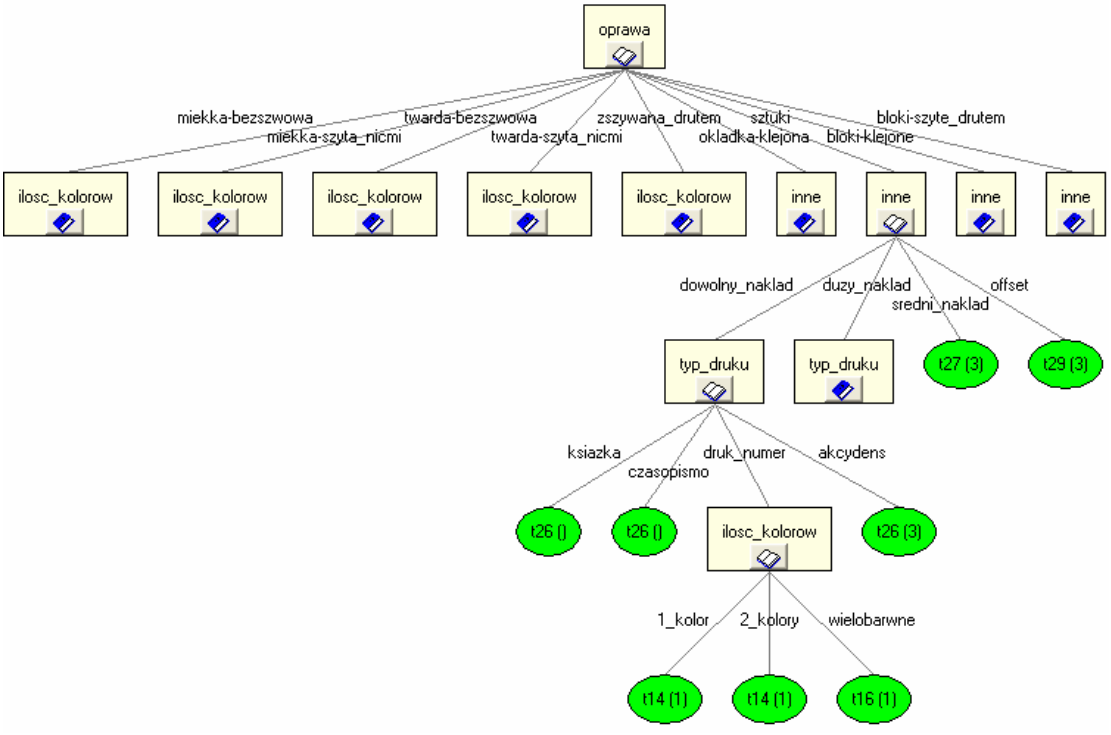
Tabela 2.11. Zestawienie technologii produkcji druków akcydensowych

symbol	ścieżka technologiczna
t26	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + Roland 200 + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA
t27	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + Ecoprint + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA
t28	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + maszyna offsetowa B1 planeta
t29	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + Roland 200 + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA

t30	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + Ecoprint + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA
t31	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + klejenie ręczne + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + maszyna offsetowa B1 planeta
t32	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasars + tół montażowy + kopiogram + Roland 200 + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + masz. do szycia drutem jednogł.
t33	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + Ecoprint + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + masz. do szycia drutem jednogł.
t34	studio graficznena + świetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + masz. do szycia drutem jednogł. + maszyna offsetowa B1 planeta
t35	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + Roland 200 + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA
t36	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + Ecoprint + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA
t37	studio graficzne + naświetlarka do filmów Quasar + stół montażowy + kopiogram + krajarka POLAR + pakowarka MOSCA + maszyna offsetowa B1 planeta

Źródło: Opracowanie własne

W oparciu o plik wejściowy moduł DeTrexx tworzy drzewo decyzyjne będące podstawą bazy wiedzy przyszłego systemu ekspertowego. Istnieje możliwość graficznej prezentacji otrzymanego drzewa, którego fragment przedstawiony został na rysunku 2.5.

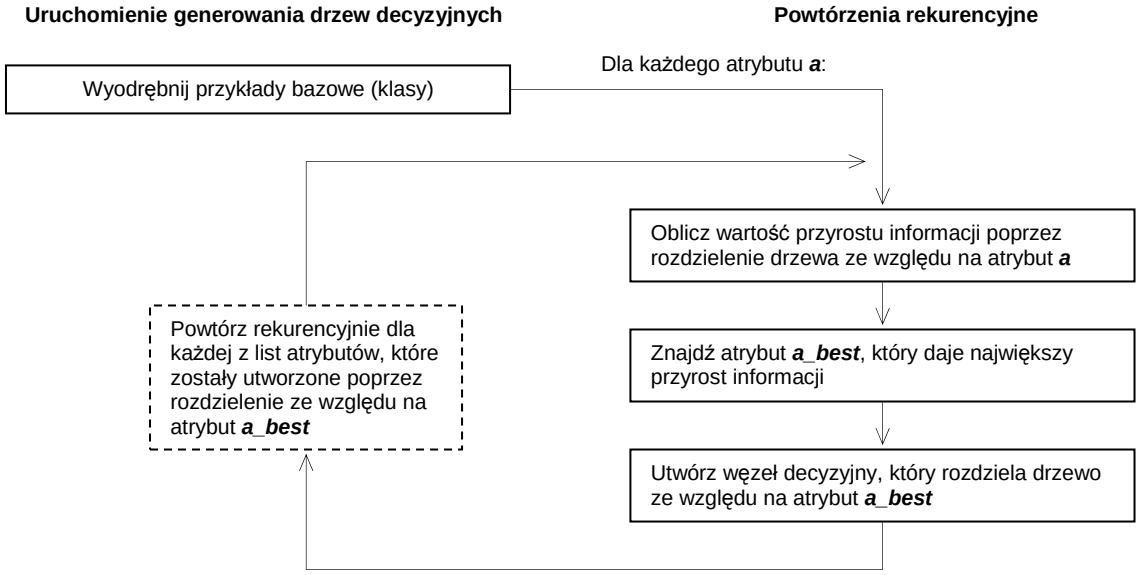


Rys. 2.5. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex

Źródło: Opracowanie własne

Chociaż twórcy programu PC Shell nie określają tego wprost, takie przesłanki jak wykorzystywanie pojęcia entropii informacji oraz możliwość przycinania drzewa, każą przypuszczać, iż algorytm tworzenia drzewa w module DeTreex opary jest na algorytmie C4.5. Algorytm ten został przedstawiony w 1993 roku przez Ross Quinlana, jako rozwinięcie opracowanego wcześniej przez niego algorytmu ID3[124] (od ang. *Iterative Dichotomiser 3*).

Algorytm ID3 wykorzystuje pojęcie entropii informacji w celu oceny poszczególnych atrybutów. Drzewa decyzyjne tworzone są poprzez stopniowe rozbudowywanie ich o kolejne atrybuty (zstępująca metoda tworzenie drzewa). W kolejnych krokach wybierane są te atrybuty, które dają największy przyrost informacji. Na rysunku 2.6. pokazano schemat działania algorytmu ID3.



Rys. 2.6. Ogólny schemat działania algorytmu ID3

Źródło: Opracowanie własne

Entropia w algorytmach Quinlana wykorzystywana jest jako miara informacji zawartej w zbiorze przykładów uczących. Entropię związaną z całym zbiorem przykładów oblicza się wg wzoru:

$$I_E = \sum_{k=1}^{n} (-\frac{n_k}{n} \log_2 \frac{n_k}{n})$$

[124] Mitchell T.M.: *Machine Learning*, McGraw-Hill, 1997, s. 52-54

gdzie:

n_k – liczba przykładów należących do klasy k

n – liczba wszystkich przykładów

Entropię związaną z informacją przenoszoną przez warunek j na temat całego problemu można obliczyć wg poniższego równania:

$$E_j = \frac{n_j^+}{n} I_{E\,j}^{\ +} + \frac{n_j^-}{n} I_{E\,j}^{\ -}$$

gdzie:

n^+_j – liczba przykładów potwierdzonych przez warunek j

n^-_j – liczba przykładów zaprzeczonych przez warunek j

n – liczba wszystkich przykładów

Z kolei ilość informacji uzyskanej ze względu na potwierdzenie lub zaprzeczenie warunku j wyliczana jest na podstawie następujących formuł:

$$I_{E\,j}^{\ +} = \sum_{k=1}^{m} (X_{j,k}^{+})$$

$$I_{E\,j}^{\ -} = \sum_{k=1}^{m} (X_{j,k}^{-})$$

gdzie:

$$X_{j,k}^{+} = \begin{cases} 0 & dla \quad n_{j,k}^{+} = 0 \\ -\dfrac{n_{j,k}^{+}}{n_j^{+}} \log_2 \dfrac{n_{j,k}^{+}}{n_j^{+}} & dla \quad n_{j,k}^{+} \rangle 0 \end{cases}$$

$$X_{j,k}^{-} = \begin{cases} 0 & dla \quad n_{j,k}^{-} = 0 \\ -\dfrac{n_{j,k}^{-}}{n_j^{-}} \log_2 \dfrac{n_{j,k}^{-}}{n_j^{-}} & dla \quad n_{j,k}^{-} \rangle 0 \end{cases}$$

$n^+_{j,k}$ – liczba przykładów potwierdzających, że jeżeli atrybut j jest spełniony to przykład należy do klasy k

$n^-_{j,k}$ – liczba przykładów potwierdzających, że jeżeli atrybut j nie jest spełniony to przykład należy do klasy k

Do utworzenia kolejnego węzła drzewa decyzyjnego atrybut *j* wybierany jest na podstawie kryterium względnego maksymalnego przyrostu, który spowoduje jego zastosowanie (ang. *information gain*):

$$g_j = I_E - E_j$$

$$j_{best} = \max_j(g_j)$$

W module DeTreex można ustawić jedynie możliwość tzw. przycinania drzewa, pozwalające na zwiększenie uogólnienia wiedzy reprezentowanej przez drzewo oraz określenie minimalnej liczby przypadków tworzących liść drzewa.

W rozważanym przypadku nie można przede wszystkim wymusić, aby wnioskowanie rozpoczynało się od pytania o typ druku. Co więcej, DeTreex nie oferuje możliwości analizy sposobu utworzenia danego drzewa decyzyjnego. Ze względu na te ograniczenia w proponowanym rozwiązaniu zastosowano oryginalny algorytm C4.5 stworzony przez Quinlana. Implementacja ósmej wersji tego algorytmu dostępna jest na stronie internetowej jego twórcy w postaci źródeł w języku C.

Program C4.5 wymaga odpowiedniego przygotowania danych do analizy. W osobnych plikach zdefiniowane muszą być klasy i atrybuty występujące w systemie (plik z rozszerzeniem *.names*) oraz dane potrzebne do analizy (plik z rozszerzeniem *.data*). Dodatkowo można określić również zbiory testowe (plik z rozszerzeniem *.test*).

Rysunek 2.7. prezentuje przykładową zawartość pliku z atrybutami i klasami.

```
|  Klasy (37)
|  -------
t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7,t8,t9,t10,t11,t12,t13,t14,t15,t16,t17,t18,t19,t20,t
21,t22,t23,t24,t25,t26,t27,t28,t29,t30,t31,t32,t33,t34,t35,t36,t37.
|  Atrybuty
|  ----------
typ_druku:        ksiazka,czasopismo,druk_numer,akcydens.
ilosc_kolorow:    1_kolor,2_kolory,wielobarwne.
oprawa:           miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-
                  bezszwowa,zszywana_drutem,twarda-szyta_nicmi,
                  okladka-klejona,sztuki,bloki-klejone,
                  bloki-szyte_drutem.
inne:             sredni_naklad,duzy_naklad,offset.
```

Rys. 2.7. Zawartość pliku z atrybutami i klasami (Plik *printing.names)*

Źródło: Opracowanie własne

Zbiór przykładów do analizy ma podobną strukturę do stosowanej w module DeTreex, z tym że nie zawiera pierwszych dwóch wierszy określających rodzaj oraz nazwy atrybutów, a poszczególne wartości atrybutów rozdzielone są znakiem przecinka. Na rysunku 2.8. pokazano fragment pliku z danymi dla programu C4.5.

```
ksiazka,1_kolor,miekka-bezszwowa,?,t1
ksiazka,2_kolory,miekka-bezszwowa,?,t2
ksiazka,wielobarwne,miekka-bezszwowa,?,t2
ksiazka,1_kolor,miekka-szyta_nicmi,?,t3
ksiazka,2_kolory,miekka-szyta_nicmi,?,t4
ksiazka,wielobarwne,miekka-szyta_nicmi,?,t4
ksiazka,1_kolor,twarda-bezszwowa,?,t5
ksiazka,2_kolory,twarda-bezszwowa,?,t6
ksiazka,wielobarwne,twarda-bezszwowa,?,t6
ksiazka,1_kolor,twarda-szyta_nicmi,?,t7
ksiazka,2_kolory,twarda-szyta_nicmi,?,t8
ksiazka,wielobarwne,twarda-szyta_nicmi,?,t8
```

Rys. 2.8. Zawartość pliku z danymi dla programu C4.5 (Plik *printing.data)*

Źródło: Opracowanie własne

Do wyboru węzła decyzyjnego program C4.5 domyślnie wykorzystuje tzw. współczynnik przyrostu informacji (ang. *gain ratio*), w odróżnieniu od modułu DeTreex, korzystającego prawdopodobnie jedynie ze standardowego przyrostu

informacji. Współczynnik przyrostu sprawdza się w przypadkach, gdy atrybuty mają różną liczbę wartości. Standardowy wskaźnik przyrostu informacji preferuje bowiem atrybuty z większą liczbą wartości. W analizowanym przykładzie zdecydowanie najwięcej wartości przybiera atrybut *oprawa* i dlatego DeTreex wybiera go jako pierwszy węzeł drzewa decyzyjnego.

Rysunek 2.9. przedstawia fragment pliku wyjściowego z programu C4.5 z włączoną opcją wymuszającą stosowanie standardowego przyrostu informacji, który obrazuje sposób wyboru pierwszego węzła.

```
C4.5 [release 8] decision tree generator
----------------------------------------
Options:
      File stem <printing>
      Sensible test requires 2 branches with >=1 cases
      Verbosity level 2
      Gain criterion used

Read 81 cases (4 attributes) from printing.data

81 items, total weight 81.0
      Att typ_druku     inf 1.800, gain 1.800
      Att ilosc_kolorow inf 1.584, gain 0.330
      Att oprawa  inf 2.643, gain 2.643
      Att inne    inf 1.740, gain 1.740
      average gain 1.628
      best attribute oprawa inf 2.643 gain 2.643 val 2.643
```

Rys. 2.9. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik painting.out_gain), fragment obejmujący wybór pierwszego węzła

Źródło: Opracowanie własne

Jak widać jako pierwszy węzeł został wybrany atrybut Oprawa, dający największy przyrost informacji, równy 2,6. Na rysunku 2.10. zawarto wygenerowany w programie C4.5 fragment drzewa decyzyjnego, które zostało wcześniej przedstawione na rysunku 2.5. w postaci diagramu wygenerowanego przez moduł DeTreex.

```
oprawa = bloki-klejone:
|   inne = sredni_naklad: t31 (3.0)
|   inne = offset: t33 (3.0)
|   inne = dowolny_naklad:
|   |   typ_druku = ksiazka: t30 (0.0)
|   |   typ_druku = czasopismo: t30 (0.0)
|   |   typ_druku = akcydens: t30 (3.0)
|   |   typ_druku = druk_numer:
|   |   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t17 (1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t17 (1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t21 (1.0)
|   inne = duzy_naklad:
|   |   typ_druku = ksiazka: t19 (0.0)
|   |   typ_druku = czasopismo: t19 (0.0)
|   |   typ_druku = druk_numer: t19 (3.0)
|   |   typ_druku = akcydens: t32 (3.0)
oprawa = bloki-szyte_drutem:
|   inne = sredni_naklad: t35 (3.0)
|   inne = offset: t37 (3.0)
|   inne = dowolny_naklad:
|   |   typ_druku = ksiazka: t34 (0.0)
|   |   typ_druku = czasopismo: t34 (0.0)
|   |   typ_druku = akcydens: t34 (3.0)
|   |   typ_druku = druk_numer:
|   |   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t18 (2.0/1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t18 (2.0/1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t22 (2.0/1.0)
|   inne = duzy_naklad:
|   |   typ_druku = ksiazka: t20 (0.0)
|   |   typ_druku = czasopismo: t20 (0.0)
|   |   typ_druku = druk_numer: t20 (6.0/3.0)
|   |   typ_druku = akcydens: t36 (3.0)
```

Rys. 2.10. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out_gain), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu oprawa=bloki-klejone

Źródło: Opracowanie własne

W celu zrównoważenia wpływu liczby wartości poszczególnych atrybutów na rzeczywisty przyrost informacji Quinlan określił współczynnik przyrostu informacji. Współczynnik ten dla atrybutu *j* liczony jest wg następującego wzoru:

$$gr_j = \frac{g_j}{s_{sj}},$$

gdzie s_j (ang. *information split*) liczone jest wg wzoru:

$$s_j = -(\frac{n_j^+}{n} + \frac{n_j^-}{n}) \log_2 (\frac{n_j^+}{n} + \frac{n_j^-}{n})$$

Stosując kryterium współczynnika przyrostu informacji jako pierwszy węzeł drzewa decyzyjnego algorytm C4.5 wybiera atrybut *typ_druku,* co jest zgodne z intuicją.

Rysunek 2.11. przedstawia fragment pliku wyjściowego z programu C4.5 dotyczący pierwszego węzła drzewa decyzyjnego.

```
C4.5 [release 8] decision tree generator
----------------------------------------
    Options:
      File stem <printing>
      Sensible test requires 2 branches with >=1 cases
      Verbosity level 2

Read 81 cases (4 attributes) from printing.data

81 items, total weight 81.0
      Att typ_druku     inf 1.800, gain 1.800
      Att ilosc_kolorow inf 1.584, gain 0.330
      Att oprawa  inf 2.643, gain 2.643
      Att inne    inf 1.740, gain 1.740
      average gain 1.628
      best attribute typ_druku inf 1.800 gain 1.800 val 1.000
```

Rys. 2.11. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący wybór pierwszego węzła

Źródło: Opracowanie własne

Atrybuty *typ_druku, oprawa* i *inne* mają taką samą wartość współczynnika przyrostu informacji wynoszącą 1,0. Jako pierwszy węzeł wybierany jest pierwszy atrybut z listy.

Rysunek 2.12. zawiera wartości współczynników *gr* i sposób tworzenia drzewa dla atrybutu *typ_druku* równego „książka".

```
12 items, total weight 12.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      Att oprawa  inf 2.000, gain 2.000
      Att inne    inf 0.000, gain -0.001
      average gain 1.459
      best attribute oprawa inf 2.000 gain 2.000 val 1.000

3 items, total weight 3.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      Att inne    inf 0.000, gain -0.001
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 1.585 gain 0.918 val 0.579

3 items, total weight 3.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      Att inne    inf 0.000, gain -0.001
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 1.585 gain 0.918 val 0.579

3 items, total weight 3.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      Att inne    inf 0.000, gain -0.001
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 1.585 gain 0.918 val 0.579

3 items, total weight 3.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      Att inne    inf 0.000, gain -0.001
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 1.585 gain 0.918 val 0.579
```

Rys. 2.12. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=ksiazka

Źródło: Opracowanie własne

Atrybutem wybranym do utworzenia kolejnego węzła drzewa decyzyjnego jest *oprawa*. Następne węzły tworzone są w oparciu o wartość atrybutu *ilosc_kolorow*.

Na rysunku 2.13. pokazano fragment pliku *painting.out* zawierający drzewo decyzyjnego dla *typ_druku=ksiazka*.

```
typ_druku = ksiazka:
|   oprawa = zszywana_drutem: t2 (0.0)
|   oprawa = okladka-klejona: t2 (0.0)
|   oprawa = sztuki: t2 (0.0)
|   oprawa = bloki-klejone: t2 (0.0)
|   oprawa = bloki-szyte_drutem: t2 (0.0)
|   oprawa = miekka-bezszwowa:
|   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t1 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t2 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t2 (1.0)
|   oprawa = miekka-szyta_nicmi:
|   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t3 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t4 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t4 (1.0)
|   oprawa = twarda-bezszwowa:
|   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t5 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t6 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t6 (1.0)
|   oprawa = twarda-szyta_nicmi:
|   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t7 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t8 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t8 (1.0)
```

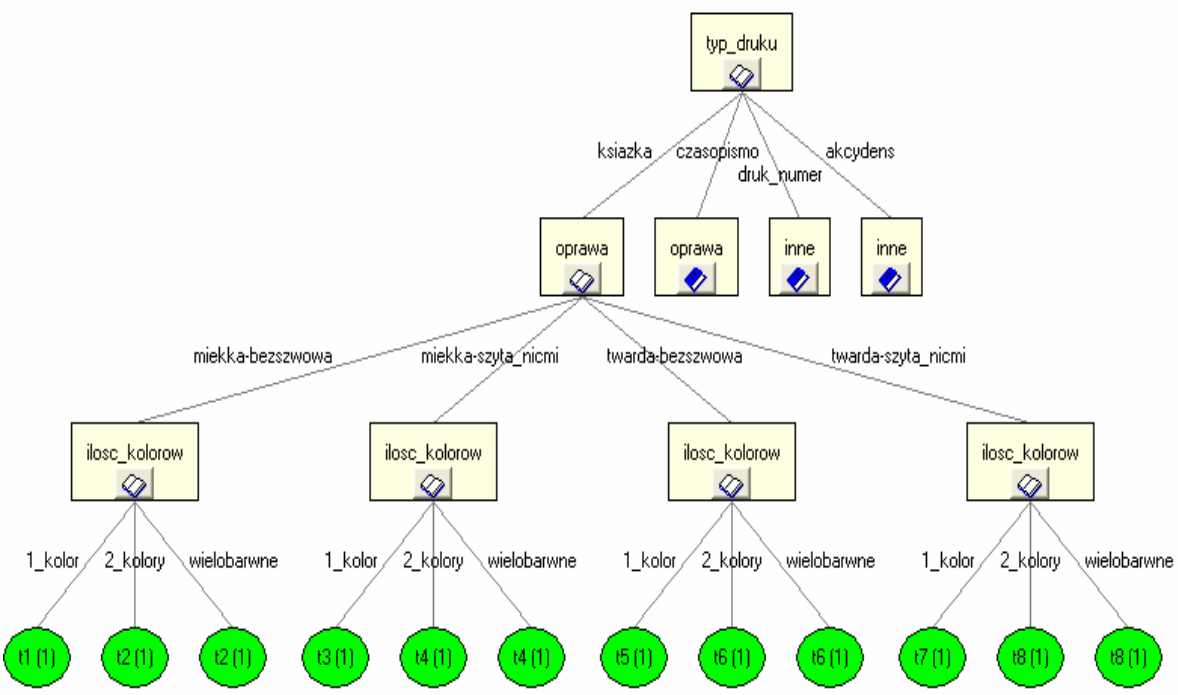
Rys. 2.13. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik painting.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu typ_druku=ksiazka

Źródło: Opracowanie własne

Warto zwrócić uwagę, że algorytm C4.5 próbuje utworzyć liście także dla niepotwierdzonych przypadków. W zbiorze testowym dla książek nie było przykładów z oprawą zszywaną drutem, okładką klejoną lub oznaczoną jako „sztuki", „bloki-klejone" czy „bloki-szyte drutem". Dla tych przypadków algorytm proponuje wybór technologii oznaczonej jako „t2".

Przygotowane przez program C4.5 drzewo decyzyjne zostało następnie przekonwertowane do postaci XML, zgodnej z Decision Tree Language opracowanym przez firmę AiTech i zaimportowane do modułu DeTreex w celu uzyskania graficznej reprezentacji drzewa.

Rysunek 2.14. przedstawia graficzną reprezentację fragmentu drzewa decyzyjnego dla węzła *typ_druku=ksiazka* uzyskaną za pomocą modułu DeTreex programu PC-Shell. Ze względu na ograniczone miejsce na grafie zostały pominięte liście, których nie potwierdza żaden występujący przykład (np. *oprawa=zszywana_drutem*).



Rys. 2.14. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła typ_druku=ksiazka

Źródło: Opracowanie własne

Jako następny wygenerowany został fragment drzewa decyzyjnego dla węzła *typ_druku* równego „czasopismo". Jest to kolejny etap jaki należy przeprowadzić w tworzeniu podstaw bazy wiedzy systemu ekspertowego wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji w drukarni, aby możliwe było utworzenie odpowiednich fragmentów drzewa decyzyjnego obejmujących główne rodzaje produktów oferowanych przez badaną drukarnię.

Rysunek 2.15. zawiera wartości współczynników przyrostu informacji w kolejnych krokach budowania drzewa dla węzła *typ_druku* równego „czasopismo" począwszy od tego węzła.

```
9 items, total weight 9.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.530, gain 0.474
      Att oprawa  inf 0.918, gain 0.918
      Att inne    inf 0.991, gain 0.991
      average gain 0.794
      best attribute oprawa inf 0.918 gain 0.918 val 1.000

3 items, total weight 3.0
      Att ilosc_kolorow inf 0.918, gain 0.918
      Att inne    inf 0.918, gain 0.918
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 0.918 gain 0.918 val 1.000

2 items, total weight 2.0
      Att inne    inf 1.000, gain 1.000
      average gain 1.000
      best attribute inne inf 1.000 gain 1.000 val 1.000

6 items, total weight 6.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.000
      Att inne    inf 1.000, gain 1.000
      average gain 0.500
      best attribute inne inf 1.000 gain 1.000 val 1.000
```

Rys. 2.15. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=czasopismo

Źródło: Opracowanie własne

Na rysunku 2.16. pokazano kolejny fragment pliku *printing.out* utworzonego za pomocą programu C4.5 zawierający drzewo decyzyjnego dla węzła *typ_druku=czasopismo*.

Podobnie jak w przypadku książek, również dla czasopism algorytm programu C4.5 tworzy liście drzewa decyzyjnego dla niepotwierdzonych przykładem przypadków (np. *oprawa*=twarda-szyta_nicmi). W takiej sytuacji dla liścia proponowana jest technologia „t12".

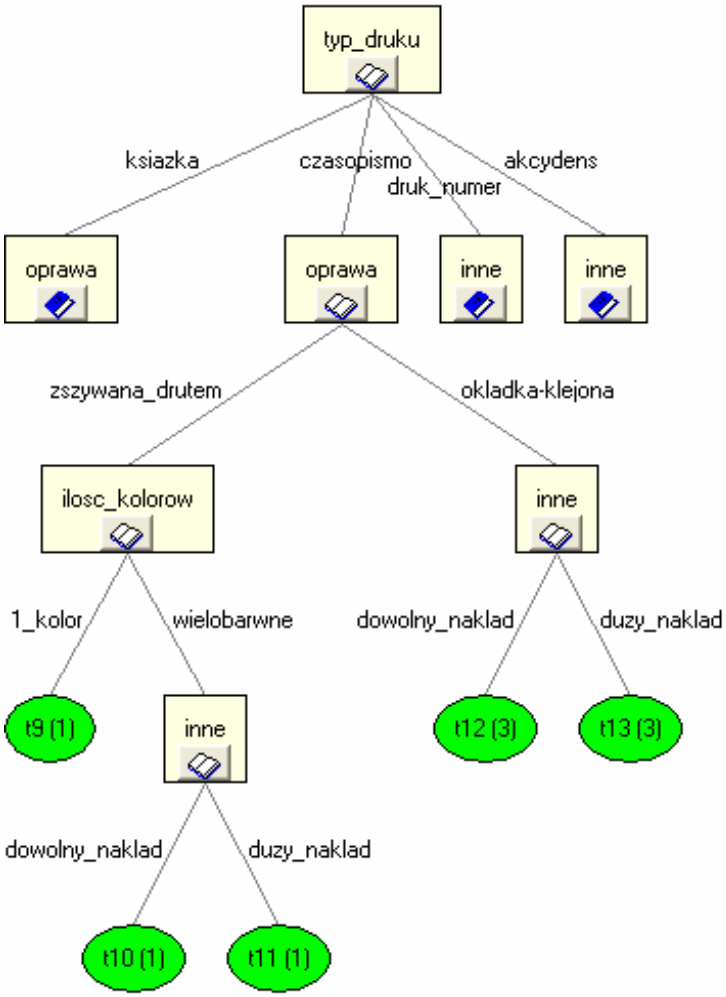
```
typ_druku = czasopismo:
|   oprawa = miekka-bezszwowa: t12 (0.0)
|   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t12 (0.0)
|   oprawa = twarda-bezszwowa: t12 (0.0)
|   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t12 (0.0)
|   oprawa = sztuki: t12 (0.0)
|   oprawa = bloki-klejone: t12 (0.0)
|   oprawa = bloki-szyte_drutem: t12 (0.0)
|   oprawa = zszywana_drutem:
|   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t9 (1.0)
|   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t9 (0.0)
|   |   ilosc_kolorow = wielobarwne:
|   |   |   inne = dowolny_naklad: t10 (1.0)
|   |   |   inne = sredni_naklad: t10 (0.0)
|   |   |   inne = duzy_naklad: t11 (1.0)
|   |   |   inne = offset: t10 (0.0)
|   oprawa = okladka-klejona:
|   |   inne = dowolny_naklad: t12 (3.0)
|   |   inne = sredni_naklad: t12 (0.0)
|   |   inne = duzy_naklad: t13 (3.0)
|   |   inne = offset: t12 (0.0)
```

Rys. 2.16. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik painting.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu typ_druku=czasopismo

Źródło: Opracowanie własne

Podobnie jak w przypadku gałęzi dla książek, w celu graficznego przedstawienia fragmentu dzrewa decyzyjnego odpowiedzialnego za tworzenie gałęzi dla czasopism, zawartego w pliku *painting.out* należało dokonać jego konwersji do formatu *Decision Tree Language*.

Rysunek 2.17. przedstawia fragmentu drzewa decyzyjnego dla węzła *typ_druku=czasopismo* wygenerowanego za pomocą modułu DeTreex na podstawie pliku *painting.out* utworzonego uprzednio w programie C4.5.



Rys. 2.17. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła typ_druku=czasopismo

Źródło: Opracowanie własne

Aby system ekspertowy wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji w drukarni mógł poprawnie rozpoznawać technologie wytarzania dla druków numerowanych, konieczne w dalszej kolejności jest wygenerowanie drzewa decyzyjnego od węzła utworzonego dla *typ_druku* równego „druk numerowany”.

Rysunek 2.18. prezentuje wartość współczynników przyrostu informacji w kolejnych iteracjach dla tego fragmentu drzewa decyzyjnego.

```
24 items, total weight 24.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.459
      Att oprawa  inf 1.500, gain 1.500
      Att inne    inf 1.000, gain 1.000
      average gain 0.986
      best attribute inne inf 1.000 gain 1.000 val 1.000

12 items, total weight 12.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      Att oprawa  inf 1.500, gain 1.500
      average gain 1.209
      best attribute oprawa inf 1.500 gain 1.500 val 1.000

3 items, total weight 3.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 1.585 gain 0.918 val 0.579

3 items, total weight 3.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 1.585 gain 0.918 val 0.579

6 items, total weight 6.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.918
      average gain 0.918
      best attribute ilosc_kolorow inf 1.585 gain 0.918 val 0.579

12 items, total weight 12.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.000
      Att oprawa  inf 1.500, gain 1.500
      average gain 0.750
      best attribute oprawa inf 1.500 gain 1.500 val 1.000
```

Rys. 2.18. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=druk_numer

Źródło: Opracowanie własne

Atrybutem wybranym do utworzenia kolejnego węzła drzewa decyzyjnego jest atrybut *inne*. Następne węzły tworzone są w oparciu o wartość atrybutu *oprawa* oraz *ilosc_kolorow* dla węzła *inne=dowolny_naklad* oraz *oprawa* dla węzła *inne=duzy_naklad*.

Na rysunku 2.19. zaprezentowano fragment pliku *printing.out* zawierający drzewo decyzyjnego dla węzła *typ_druku=druk_numer*.

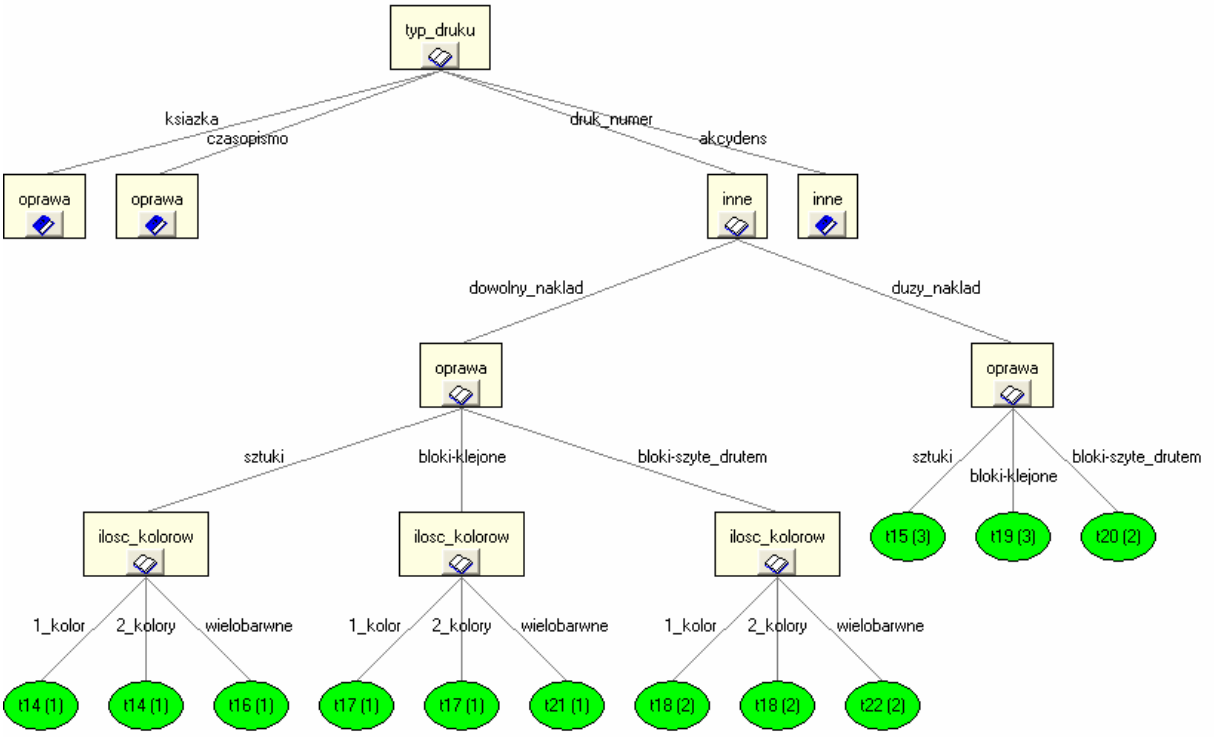
```
typ_druku = druk_numer:
|   inne = sredni_naklad: t15 (0.0)
|   inne = offset: t15 (0.0)
|   inne = dowolny_naklad:
|   |   oprawa = miekka-bezszwowa: t14 (0.0)
|   |   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t14 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-bezszwowa: t14 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t14 (0.0)
|   |   oprawa = zszywana_drutem: t14 (0.0)
|   |   oprawa = okladka-klejona: t14 (0.0)
|   |   oprawa = sztuki:
|   |   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t14 (1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t14 (1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t16 (1.0)
|   |   oprawa = bloki-klejone:
|   |   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t17 (1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t17 (1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t21 (1.0)
|   |   oprawa = bloki-szyte_drutem:
|   |   |   ilosc_kolorow = 1_kolor: t18 (2.0/1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = 2_kolory: t18 (2.0/1.0)
|   |   |   ilosc_kolorow = wielobarwne: t22 (2.0/1.0)
|   inne = duzy_naklad:
|   |   oprawa = miekka-bezszwowa: t15 (0.0)
|   |   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t15 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-bezszwowa: t15 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t15 (0.0)
|   |   oprawa = zszywana_drutem: t15 (0.0)
|   |   oprawa = okladka-klejona: t15 (0.0)
|   |   oprawa = sztuki: t15 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-klejone: t19 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-szyte_drutem: t20 (6.0/3.0)
```

Rys. 2.19. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu *typ_druku=druk_numer*

Źródło: Opracowanie własne

Także w przypadku węzła *typ_druku=druk_numer* algorytm C4.5 tworzy liście dla niepotwierdzonych przypadków identyfikowanych przez atrybuty *inne* oraz *oprawa*. Dla takich przypadków proponowana jest technologia „t14" lub „t15".

Na rysunku 2.20. przedstawiono graficzną reprezentację fragmentu drzewa decyzyjnego dla węzła *typ_druku=druk_numer* wygenerowanego przez program DeTreex na podstawie pliku wyjściowego *printing.out* z programu C4.5.



Rys. 2.20. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła *typ_druku=druk_numer*

Źródło: Opracowanie własne

Ostatnim pozostałym do utworzenia fragmentem drzewa decyzyjnego systemu ekspertowego wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji w drukarni jest struktura od węzła *typ_druku* równego „akcydens".

Rysunek 2.21. zawiera wartości współczynników przyrostu informacji w kolejnych iteracjach dla tego fragmentu drzewa decyzyjnego.

```
36 items, total weight 36.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain -0.000
      Att oprawa  inf 1.585, gain 1.585
      Att inne    inf 2.000, gain 2.000
      average gain 1.195
      best attribute inne inf 2.000 gain 2.000 val 1.000

9 items, total weight 9.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.000
      Att oprawa  inf 1.585, gain 1.585
      average gain 0.792
      best attribute oprawa inf 1.585 gain 1.585 val 1.000

9 items, total weight 9.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.000
      Att oprawa  inf 1.585, gain 1.585
      average gain 0.792
      best attribute oprawa inf 1.585 gain 1.585 val 1.000

9 items, total weight 9.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.000
      Att oprawa  inf 1.585, gain 1.585
      average gain 0.792
      best attribute oprawa inf 1.585 gain 1.585 val 1.000

9 items, total weight 9.0
      Att ilosc_kolorow inf 1.585, gain 0.000
      Att oprawa  inf 1.585, gain 1.585
      average gain 0.792
      best attribute oprawa inf 1.585 gain 1.585 val 1.000
```

Rys. 2.21. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=akcyden

Źródło: Opracowanie własne

Atrybutem wybranym do utworzenia kolejnego węzła drzewa decyzyjnego w obrębie gałęzi *akcydens* jest *inne*. Następne węzły tworzone są w oparciu o wartość atrybutu *oprawa*.

Na rysunku 2.22. zaprezentowano fragment pliku *printing.out* zawierający drzewo decyzyjnego dla *typ_druku=akcydens*.

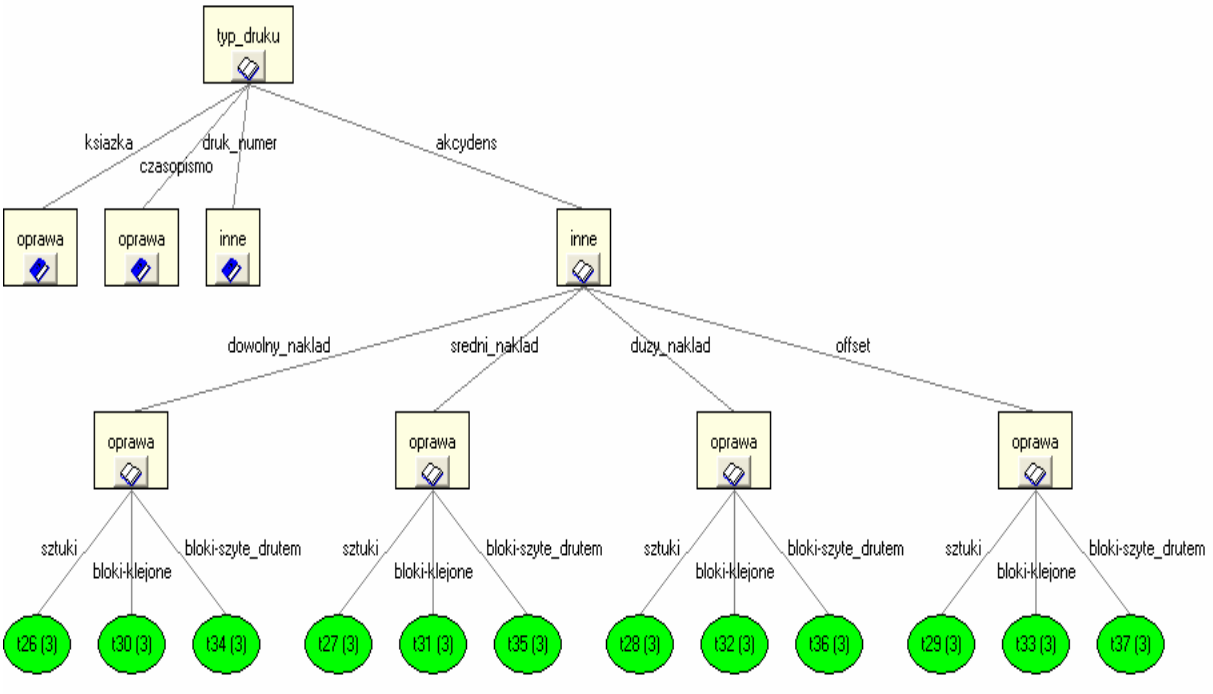
```
typ_druku = akcydens:
|   inne = dowolny_naklad:
|   |   oprawa = miekka-bezszwowa: t26 (0.0)
|   |   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t26 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-bezszwowa: t26 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t26 (0.0)
|   |   oprawa = zszywana_drutem: t26 (0.0)
|   |   oprawa = okladka-klejona: t26 (0.0)
|   |   oprawa = sztuki: t26 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-klejone: t30 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-szyte_drutem: t34 (3.0)
|   inne = sredni_naklad:
|   |   oprawa = miekka-bezszwowa: t27 (0.0)
|   |   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t27 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-bezszwowa: t27 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t27 (0.0)
|   |   oprawa = zszywana_drutem: t27 (0.0)
|   |   oprawa = okladka-klejona: t27 (0.0)
|   |   oprawa = sztuki: t27 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-klejone: t31 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-szyte_drutem: t35 (3.0)
|   inne = duzy_naklad:
|   |   oprawa = miekka-bezszwowa: t28 (0.0)
|   |   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t28 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-bezszwowa: t28 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t28 (0.0)
|   |   oprawa = zszywana_drutem: t28 (0.0)
|   |   oprawa = okladka-klejona: t28 (0.0)
|   |   oprawa = sztuki: t28 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-klejone: t32 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-szyte_drutem: t36 (3.0)
|   inne = offset:
|   |   oprawa = miekka-bezszwowa: t29 (0.0)
|   |   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t29 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-bezszwowa: t29 (0.0)
|   |   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t29 (0.0)
|   |   oprawa = zszywana_drutem: t29 (0.0)
|   |   oprawa = okladka-klejona: t29 (0.0)
|   |   oprawa = sztuki: t29 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-klejone: t33 (3.0)
|   |   oprawa = bloki-szyte_drutem: t37 (3.0)
```

Rys. 2.22. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu *typ_druku=akcydens*

Źródło: Opracowanie własne

Również w przypadku węzła *typ_druku=akcydens* algorytm programu C4.5 tworzy liście dla niepotwierdzonych przypadków dla atrybutu *oprawa* przyjmującego wartości, które nie występowały w zbiorze testowym. Dla takich przypadków proponowana jest technologia „t26", „t27", „t28" lub „t29", w zależności od wartości atrybutu *inne*.

Na rysunku 2.23. przedstawiono graficzną reprezentację fragmentu drzewa decyzyjnego dla węzła *typ_druku=akcydens* wygenerowanego przez program DeTreex na podstawie pliku wyjściowego *printing.out* z programu C4.5.



Rys. 2.23. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła *typ_druku=akcydens*

Źródło: Opracowanie własne

Algorytm Quinlana jest ciągle unowocześniany przez twórcę a jego nowa wersja o nazwie C5[125], jest obecnie dystrybuowana na zasadach komercyjnych przez australijską firmę RuleQuest w postaci programu See5 dla środowiska Windows oraz C5 dla środowiska Unix.

[125] Quinlan J. R.: *Data Mining Tools See5 and C5.0*. http://www.rulequest.com/see5-info.html, November 2007

Algorytm C5 oferuje wiele udoskonaleń w stosunku do C4.5. Główne z nich to:

- zwiększona prędkość przetwarzania – dla zbiorów testowych zawierających setki tysięcy przykładów wykazano przyrost wydajności o 500-100%,
- efektywniejsze zarządzanie pamięcią – algorytm C4.5 dla bardzo dużych zbiorów testowych (>500 000 przykładów) zużywał ponad 3GB pamięci RAM, podczas gdy algorytm C5 zużywa ponad 20-krotnie mniej,
- mniejsze drzewa decyzyjne – drzewo decyzyjne zawiera mniej liści przy zachowaniu porównywalnej wydajności wnioskowania,
- zwiększona dokładność generowanego drzewa dla danych z zakłóceniami dzięki zastosowaniu techniki tzw. Boostnigu,
- możliwość nadawania wag poszczególnym atrybutom,
- mechanizm oczyszczania drzewa z atrybutów przenoszących minimalne ilości informacji (tzw. winnowing).

Rysunek 2.24. przedstawia plik wyjściowy z programu See5 z wygenerowanym drzewem decyzyjnym. Nie stosowane były opcje zmniejszające rozmiar drzewa decyzyjnego (*winnowing* oraz *prunning*).

Niestety mimo nieaktywnych opcji wpływających na redukcję drzewa decyzyjnego algorytm C5 pomija niektóre przykłady umieszczone w zbiorze testowym. W przypadku budowanego systemu jest to zjawisko bardzo niekorzystne, gdyż nie wszystkie ścieżki technologiczne zostaną uwzględnione w tworzonym systemie ekspertowym.

Przykłady zawarte w tablicy decyzyjnej mające charakter jednostkowy nie byłyby uwzględnione w systemie ekspertowym. Z drugiej strony, gdyby docelowy system wspomagający decyzje w procesie przygotowania produkcji został zintegrowany z bazą danych zawierającą rzeczywiste dane produkcyjne, takie rozwiązane mogłoby okazać się korzystne. Duża liczba rekordów pochodząca z systemu ewidencjonowania lub śledzenia produkcji zostałaby w krótkim czasie przetworzona na drzewo decyzyjne z pominięciem nieistotnych czy incydentalnych przypadków.

```
See5 [Release 2.04]
-------------------
    Options:
      Do not use global pruning
      Test requires 2 branches with >= 1 cases

Read 81 cases (4 attributes) from printing.data

Decision tree:
typ_druku = ksiazka:
:...oprawa in {zszywana_drutem,okladka-klejona,sztuki,bloki-klejone,
:   :          bloki-szyte_drutem}: t2 (0)
:   oprawa = miekka-bezszwowa: t2 (3/1)
:   oprawa = miekka-szyta_nicmi: t4 (3/1)
:   oprawa = twarda-bezszwowa: t6 (3/1)
:   oprawa = twarda-szyta_nicmi: t8 (3/1)
typ_druku = druk_numer:
:...inne in {sredni_naklad,offset}: t15 (0)
:   inne = dowolny_naklad:
:   :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
:   :   :          twarda-szyta_nicmi,zszywana_drutem,
:   :   :          okladka-klejona}: t14 (0)
:   :   oprawa = sztuki: t14 (3/1)
:   :   oprawa = bloki-klejone: t17 (3/1)
:   :   oprawa = bloki-szyte_drutem: t18 (6/4)
:   inne = duzy_naklad:
:   :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
:       :          twarda-szyta_nicmi,zszywana_drutem,
:       :          okladka-klejona}: t15 (0)
:       oprawa = sztuki: t15 (3)
:       oprawa = bloki-klejone: t19 (3)
:       oprawa = bloki-szyte_drutem: t20 (6/3)
typ_druku = akcydens:
:...inne = dowolny_naklad:
:   :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
:   :   :          twarda-szyta_nicmi,zszywana_drutem,
:   :   :          okladka-klejona}: t26 (0)
:   :   oprawa = sztuki: t26 (3)
:   :   oprawa = bloki-klejone: t30 (3)
:   :   oprawa = bloki-szyte_drutem: t34 (3)
:   inne = sredni_naklad:
:   :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
:   :   :          twarda-szyta_nicmi,zszywana_drutem,
:   :   :          okladka-klejona}: t27 (0)
:   :   oprawa = sztuki: t27 (3)
:   :   oprawa = bloki-klejone: t31 (3)
:   :   oprawa = bloki-szyte_drutem: t35 (3)
```

```
:   inne = duzy_naklad:
:   :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
:   :   :          twarda-szyta_nicmi,zszywana_drutem,
:   :   :          okladka-klejona}: t28 (0)
:   :   oprawa = sztuki: t28 (3)
:   :   oprawa = bloki-klejone: t32 (3)
:   :   oprawa = bloki-szyte_drutem: t36 (3)
:   inne = offset:
:   :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
:       :          twarda-szyta_nicmi,zszywana_drutem,
:       :          okladka-klejona}: t29 (0)
:       oprawa = sztuki: t29 (3)
:       oprawa = bloki-klejone: t33 (3)
:       oprawa = bloki-szyte_drutem: t37 (3)
typ_druku = czasopismo:
:...inne in {sredni_naklad,offset}: t12 (0)
    inne = duzy_naklad:
    :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
    :   :          twarda-szyta_nicmi,sztuki,bloki-klejone,
    :   :          bloki-szyte_drutem}: t13 (0)
    :   oprawa = zszywana_drutem: t11 (1)
    :   oprawa = okladka-klejona: t13 (3)
    inne = dowolny_naklad:
    :...oprawa in {miekka-bezszwowa,miekka-szyta_nicmi,twarda-bezszwowa,
        :          twarda-szyta_nicmi,sztuki,bloki-klejone,
        :          bloki-szyte_drutem}: t12 (0)
        oprawa = okladka-klejona: t12 (3)
        oprawa = zszywana_drutem:
        :...ilosc_kolorow = 2_kolory: t9 (0)
            ilosc_kolorow = 1_kolor: t9 (1)
            ilosc_kolorow = wielobarwne: t10 (1)
```

Rys. 2.24. Plik wyjściowy z programu See5 z wygenerowanym drzewem decyzyjnym

Źródło: Opracowanie własne

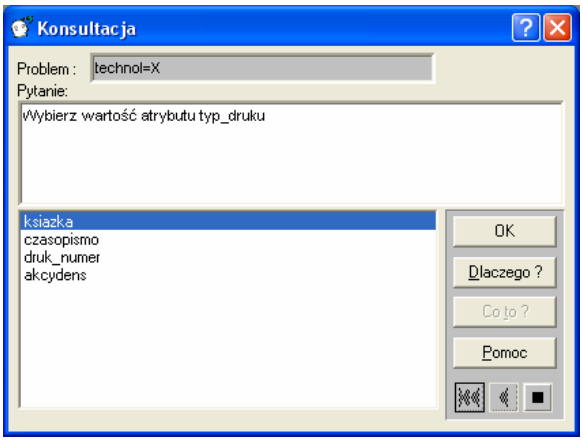
c) Przykładowa konsultacja w projektowanym modelu systemu ekspertowego

Ekran powitalny systemu ekspertowego.

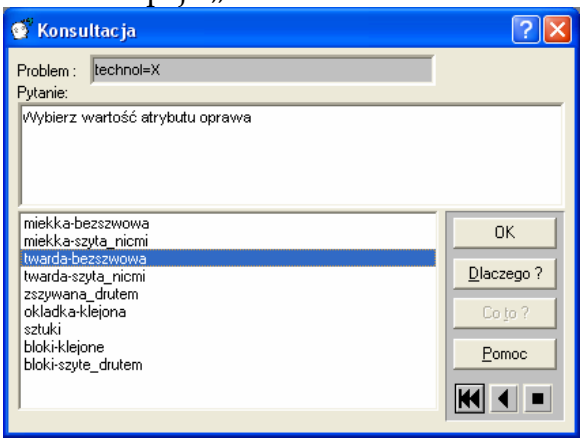


W pierwszej kolejności system pyta o typ druku.

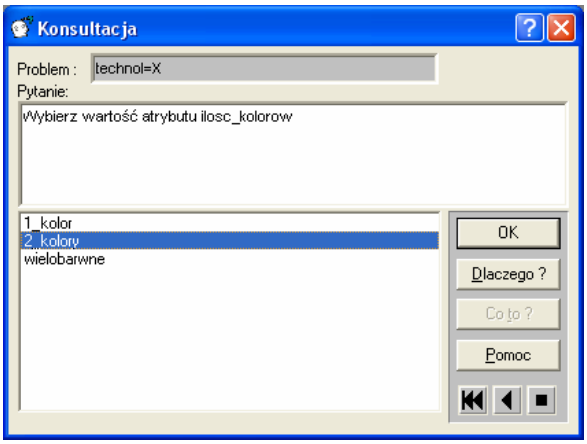
Użytkownik wybiera pozycję „książka”.



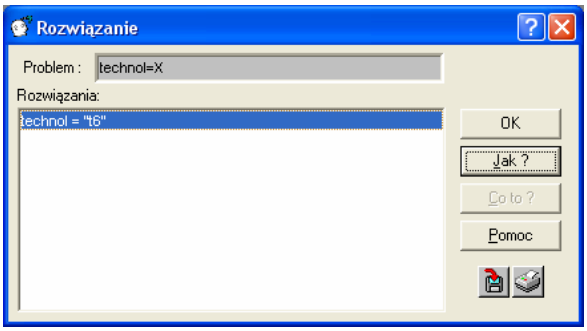
Następnie, zgodnie z wygenerowanym drzewem decyzyjnym dla węzła (typ_druku=ksiazka) użytkownik systemu pytany jest o oprawę. Wybrana zostanie opcja „twarda bezszwowa”.



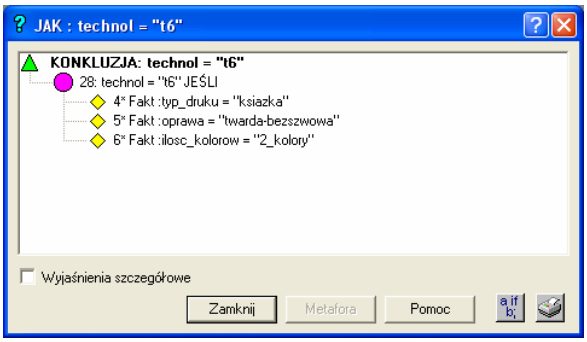
Po wyborze oprawy następuje pytanie o ilość kolorów. Użytkownik systemu zaznacza pozycję „2 kolory”.



Wybór koloru kończy konsultację. System wskazuje technologię oznaczoną symbolem „t6”, co oznacza ścieżkę: naświetlarka do offsetowych CTP + Roland 300 + falcerka + zbieraczka do leg + oklejarka ANIGO + colbus + urządz. do opr. twardej Rodas + trójnóż.

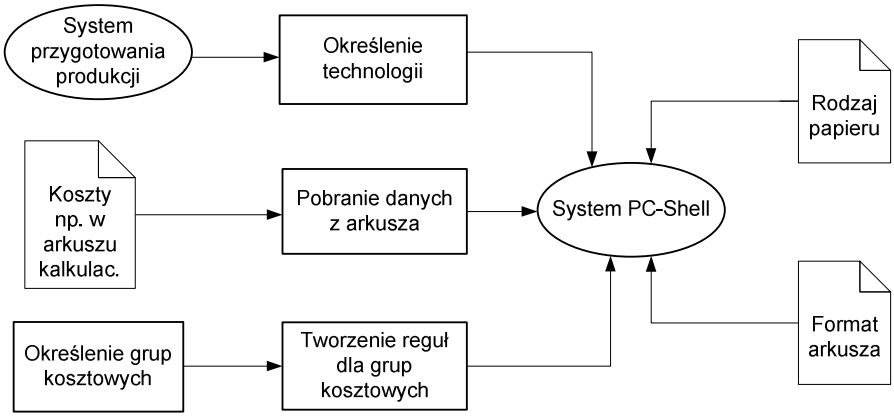


Użytkownik ma możliwość podglądu sposobu, w jaki system ekspertowy wygenerował rozwiązanie postawionego problemu (konkluzję). Kolejne wybory dokonywane przez użytkownika przedstawione są w postaci graficznej prezentacji wyjaśnień typu “jak?”.



d) Podsystem wspomagający szacowanie kosztów druku

Istotą podsystemu jest pozyskiwanie i przetwarzanie danych z różnych źródeł wiedzy w celu oszacowania przewidywanych kosztów druku. Podstawowym źródłem wiedzy jest baza kosztów jednostkowych przygotowana przez Dział Finansowy dla rożnych grup wyrobów. Grupy te wyznaczano na podstawie podobieństwa ścieżek technologicznych określonych przez technologa dla poszczególnych typów wytwarzanych wyrobów przy wykorzystaniu analizy przepływów produkcji.



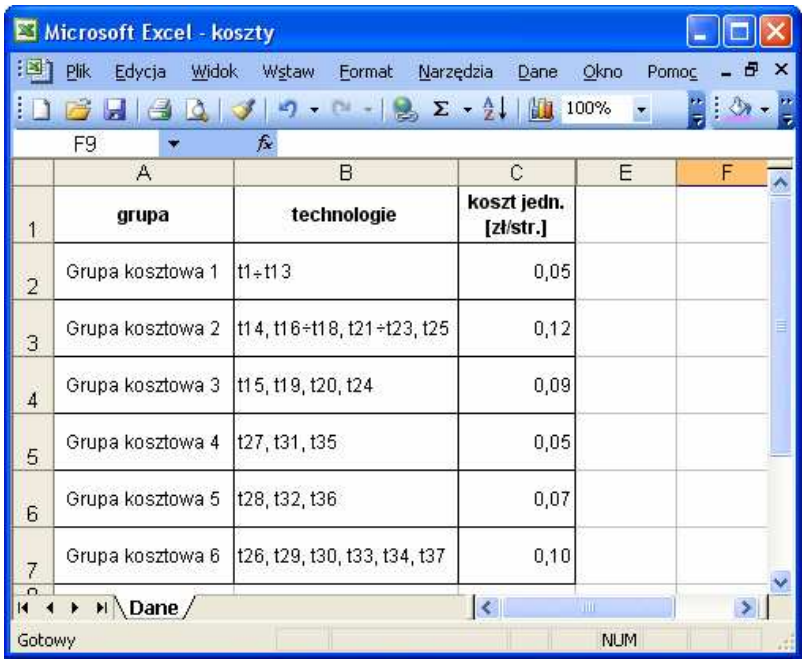
Rys. 2.25. Schemat tworzenia reguł dla podsystemu szacowania cen w PC-Schell

Źródło: Opracowanie własne

Na podstawie wyznaczonych grup podobieństwa technologicznego tworzone są reguły przyporządkowujące danej technologii kategorię ceny bazowej. System ekspertowy (PC-Shell) pobiera wartości kosztów bazowych z odrębnego źródła wiedzy to jest z arkusza kalkulacyjnego i przetwarza je jako parametry w kolejnych etapach wnioskowania. Koszt bazowy określony jest jako koszt wydrukowania jednej strony A4 na standardowym papierze dla wyrobów określonej grupy podobieństwa technologicznego. Koszt bazowy obliczany jest na podstawie danych archiwalnych kalkulacji kosztów po wyprodukowaniu wyrobów, wprowadzanych na bieżąco do arkusza kalkulacyjnego po zamknięciu zlecenia.

System ekspertowy szacując koszt wydrukowania określonego przez klienta wyrobu wylicza go na podstawie kosztu bazowego (k_b), współczynnika przeliczeniowego formatu arkusza (w_f), współczynnika zwiększającego koszt z uwagi na rodzaj zastosowanego papieru (w_P) oraz całkowitej liczby stron (n).

$$k_w = k_b \cdot w_f \cdot w_p \cdot n$$



	A	B	C	E	F
1	**grupa**	**technologie**	**koszt jedn. [zł/str.]**		
2	Grupa kosztowa 1	t1÷t13	0,05		
3	Grupa kosztowa 2	t14, t16÷t18, t21÷t23, t25	0,12		
4	Grupa kosztowa 3	t15, t19, t20, t24	0,09		
5	Grupa kosztowa 4	t27, t31, t35	0,05		
6	Grupa kosztowa 5	t28, t32, t36	0,07		
7	Grupa kosztowa 6	t26, t29, t30, t33, t34, t37	0,10		

Rys. 2.26. Źródło wiedzy podsystemu szacowania cen dla PC-Schell w postaci arkusza Excel

Źródło: Opracowanie własne

Dzięki temu, że system ekspertowy PC-Shell umożliwia odczytywanie wiedzy bezpośrednio z arkusza kalkulacyjnego, pracownicy mogą na bieżąco wprowadzać do niego dane dotyczące jednostkowych kosztów wydruku zrealizowanych zamówień, aktualizując tym samym codziennie źródło wiedzy systemu. Ze wszystkich wprowadzonych uprzednio rzeczywistych kosztów zrealizowanych zleceń w arkuszu kalkulacyjnym wyliczany jest średni koszt w obrębię danej grupy, będący kosztem bazowym. Taka koncepcja źródła wiedzy pozwala na łatwy sposób aktualizowania danych.

Zadanie odczytu wiedzy z arkusza kalkulacyjnego wykonywane jest w bloku kontrolnym systemu ekspertowego. Algorytm realizujący odczyt w pierwszym kroku próbuje otworzyć arkusz w określonej ścieżce. W przypadku niepowodzenia tej operacji wypisywany jest komunikat informujący o nieprawidłowej ścieżce dostępu do arkusza i program kończy działanie. Jeżeli arkusz zostanie poprawnie otwarty, kolejna grupa instrukcji bloku sterującego odczytuje dane dotyczące kosztów bazowych ustalonych dla poszczególnych grup. Warunkiem poprawnego odczytu jest umieszczenie kosztów w 3-ciej kolumnie, począwszy od wiersza 2 arkusza o nazwie „Dane". Arkusz może być umieszczony na dysku sieciowym co dodatkowo zwiększa dostępność i funkcjonalność rozwiązania. Całość zapisywana jest w pamięci RAM komputera w strukturze tablicowej systemu ekspertowego i wykorzystywana podczas sesji szacującej koszty realizacji danego zapytania ofertowego zgłaszanego przez klienta.

Na rysunku Rys. 2.27. przedstawiony został fragment kodu w języku Sphinx, stosowanym w środowisku PC-Schell realizujący odczyt danych z arkusza kalkulacyjnego.

```
begin
   Indeks:=I+1;
   sprintf( NazwaKomorki, "W%dK1", Indeks );
   ddeRequest( ID2, NazwaKomorki, War);
   if (War =="")
        begin
         break;
        end
   else
  begin
        sprintf( NazwaKomorki, "W%dK3", Indeks );
        Indeks:=I-1;
          ddeRequest( ID2, NazwaKomorki, Grupy_kosztow[I]);
        end;
   I := I + 1;
end;
```

Rys. 2.27. Fragment kodu w języku Sphinx, stosowanym w środowisku PC-Schell realizujący odczyt danych z arkusza kalkulacyjnego

Źródło: Opracowanie własne

Po zakończeniu etapu odczytywania danych kosztów bazowych mechanizm sterujący uruchamia kolejno wnioskowanie dla różnych źródeł wiedzy odpowiedzialnych za:

- wskazanie kosztu bazowego dla podanego rodzaju technologii druku,
- określenie współczynnika przeliczeniowego w zależności od zastosowanego do druku formatu strony,
- określenie współczynnika zwiększającego koszt druku z uwagi na rodzaj zastosowanego papieru.

Sposób ustalania współczynnika przeliczeniowego formatu strony oraz współczynnika kosztów papieru został omówiony w podpunkcie e) niniejszego rozdziału.

Pozyskane ze źródeł współczynniki muszą zostać następnie przetworzone na format liczbowy. Procedura ta odbywa się w trzech etapach:

- pobranie faktu ze źródła wiedzy po zakończeniu procesu wnioskowania,
- rozdzielenie trójki obiekt-atrybut-wartość (OAW) na wartości analityczne,
- zamianie wartości wyrażonej tekstem na daną liczbową.

```
solve( strony, "przelicznik_formatu=X" );
catchFact( PrzelicznikS,_,"przelicznik_formatu",_,0 );
splitOAV( PrzelicznikS,Obi,Atr,War );
ston(War, Przelicznik );
```

Rys. 2.28. Fragment kodu w języku Sphinx, stosowanym w środowisku PC-Schell realizujący procedurę zamiany wartości dla przelicznika formatu arkusza

Źródło: Opracowanie własne

e) Ustalenie wartości współczynników formatu strony i kosztów papieru

System ekspertowy umożliwia wprowadzenie dowolnego format strony z szeregu A, B, lub C (dla kopert), zgodnego z normą ISO 216 (Tab. 2.12). Powierzchnia arkusza w danym formacie jest przeliczana na wielkość standardowej strony formatu A4. Współczynniki przeliczeniowe zawarte są w osobnym źródle wiedzy (*format.zw*).

Tabela 2.12. Formaty arkuszy zgodne z ISO 216

formaty zasadnicze			formaty pomocnicze					
SZEREG A			SZEREG B			SZEREG C		
Symbol formatu	Wymiary arkusza [mm]	Wsp. przelicz.	Symbol formatu	Wymiary arkusza [mm]	Wsp. przelicz.	Symbol formatu	Wymiary arkusza [mm]	Wsp. przelicz.
4A0	1682×2378	64,13	—	—		—	—	
2A0	1189×1682	32,07	—	—		—	—	
A0	841×1189	16,03	B0	1000×1414	22,67	C0	917×1297	19,07
A1	594×841	8,01	B1	707×1000	11,34	C1	648×917	9,53
A2	420×594	4,00	B2	500×707	5,67	C2	458×648	4,76
A3	297×420	2,00	B3	353×500	2,83	C3	324×458	2,38
A4	**210×297**	**1,00**	B4	250×353	1,41	C4	229×324	1,19
A5	148×210	0,50	B5	175×250	0,70	C5	162×229	0,59
A6	105×148	0,25	B6	125×176	0,35	C6	114×162	0,30
A7	74×105	0,125	B7	88×125	0,175	C7	81×114	0,148
A8	52×74	0,062	B8	62×88	0,087	C8	57×81	0,074
A9	37×52	0,031	B9	44×62	0,044	C9	40×57	0,037
A10	26×37	0,015	B10	31×44	0,022	C10	28×40	0,018
—	—		—	—		DL	110×220	0,388
—	—		—	—		C7/6	81×162	0,210

Źródło: Opracowanie własne

Zastosowanie współczynnika przeliczeniowego pozwala na dogodne przeliczanie wielkości formatów arkuszy między różnymi standardami, a także uwzględnianie innych standardów (na przykład amerykańskich czy japońskich) jak również formatów zadanych przez klienta.

Na podobnej zasadzie zbudowane jest źródło wiedzy związane z rodzajem drukowanego papieru (*papier.zw*), w którym uwzględniono współczynniki kosztów różnego rodzaju papieru wykorzystywanego do drukowania wyrobów. Im droższy papier tym większy wskaźnik jego kosztu.

Tabela 2.13. Współczynniki kosztów dla poszczególnych rodzajów

Rodzaj papieru	Współczynnik kosztów
standardowy	1
offsetowy kl. V	1,1
offsetowy kl. III	1,3
kredowy	2
nietypowy	3

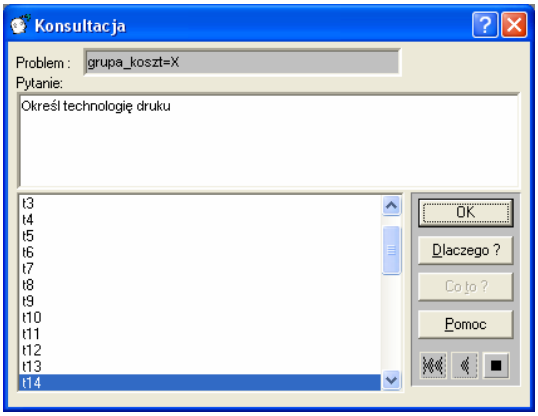
Źródło: Opracowanie własne

f) Przykładowa konsultacja w podsystemie szacowania kosztów

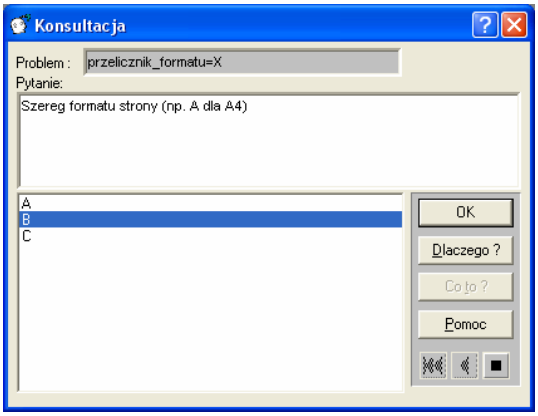
Ekran powitalny podsystemu.



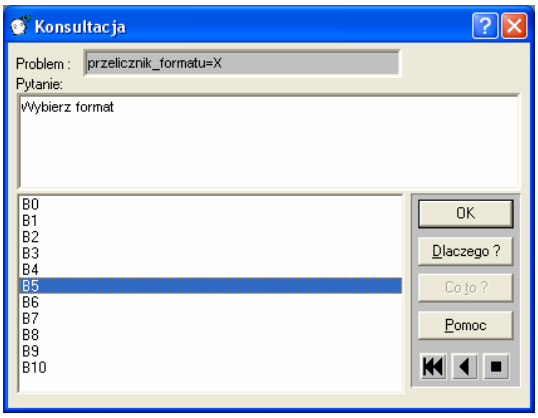
Wybór technologii druku. Technologia powinna zostać wcześniej ustalona w systemie doboru technologii produkcji. Finalnie określanie technologii druku oraz kosztów druku odbywać się będzie w jednym systemie ekspertowym integrującym te dwa podsystemy. Prezentowane podsystemy potraktowano rozdzielne ze względów testowych oraz prezentacyjnych.



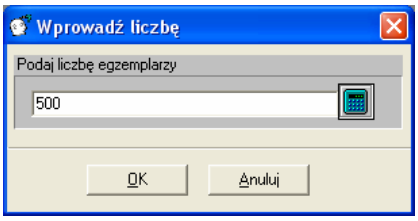
Następnie użytkownik musi określić szereg, w którym określony zostanie format arkusza (A, B lub C) wg normy ISO 216.

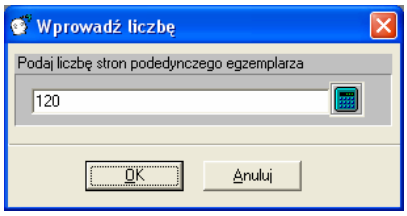


Po wybraniu określonego szeregu należy wybrać odpowiedni rodzaj arkusza.

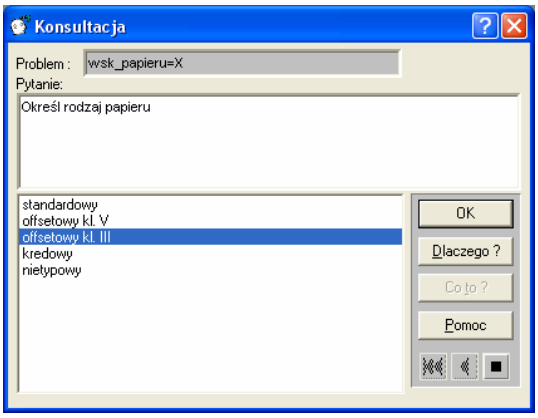


W kolejnym kroku użytkownik wprowadza wielkość nakładu i ilość stron.

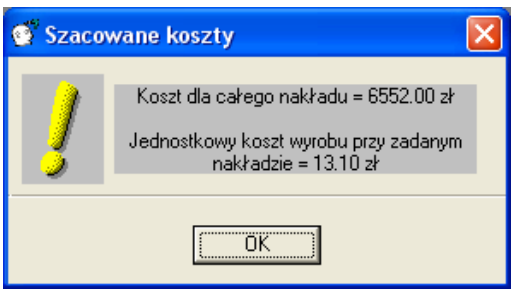




W ostatnim kroku należy wybrać rodzaj papieru.



Podsystem zwróci szacowany koszt wyrobu oparty na wielkości nakładu i liczbie stron wyrobu, współczynnikach przeliczeniowych formatu strony oraz rodzaju papieru z uwzględnieniem kosztu bazowego, którego wartość pobrano z arkusza kalkulacyjnego.



3. OCENA WYKORZYSTANIA MODELU SYSTEMU EKSPERTOWEGO WE WSPOMAGANIU DECYZJI W PROCESACH PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI

3.1. Określenie wpływu zastosowania systemu ekspertowego na podejmowanie decyzji w procesach przygotowania produkcji

Przy określaniu wpływu zastosowania systemu ekspertowego na podejmowanie decyzji w procesach przygotowania produkcji należy przygotować zestaw kryteriów według, których będzie można dokonać obiektywnej oceny.

Proponowany system oceny będzie systemem dwuetapowym, w który pierwsza faza oceny dotyczyć będzie konstrukcji modelu systemu ekspertowego jako nowoczesnego narzędzia wspomagania decyzji. Po jej zakończeniu ocenie podlegać będzie przydatność tego modelu w podejmowaniu decyzji w zakresie procesów przygotowania produkcji. Takie podejście pozwoli na sprawdzenie:

- czy podczas konstrukcji modelu systemu ekspertowego nie popełniono błędów technicznych związanych na przykład ze strukturą bazy wiedzy, nieodpowiednim wykorzystaniem reguł wnioskowania czy niepoprawnym zaprojektowaniem interfejsu użytkownika,
- czy został osiągnięty i w jakim stopniu cel merytoryczny jakim jest efektywne wspomaganie podejmowania decyzji w procesach przygotowania produkcji przy wykorzystaniu systemu ekspertowego.

Osobnym kryterium, są subiektywne odczucia użytkowników co do prostoty funkcjonowania, łatwości w posługiwaniu się systemem ekspertowym jako narzędziem w codziennej pracy, a także zaufanie do wydawanych przezeń konkluzji. Jest to ważne kryterium ale indywidualne podejście każdego oceniającego może sprawić trudność w jego zastosowaniu. Oczywiście można przygotować jeszcze inne kryteria oceny jak choćby kryterium powszechności zastosowanych rozwiązań, przenoszalności między różnymi systemami operacyjnymi, czy sposób licencjonowania wielu kopii tego samego systemu, jednak w omawianym przypadku będą to kryteria drugorzędne, o mniejszym ciężarze gatunkowym niż te które zostały przyjęte.

a) ocena konstrukcji modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji

Ocena konstrukcji modelu systemu ekspertowego jako nowoczesnego narzędzia wspomagania decyzji opierać się musi na analizie struktury wewnętrznej, sprawdzeniu poprawności budowy bazy wiedzy oraz reguł wnioskowania. Poprawnie zbudowany model pozbawiony jest redundancji danych, oraz posiada przejrzystą strukturę opartą o źródła wiedzy o zróżnicowanej tematyce. Z reguł powinny wynikać jasno konkluzje, czytelne dla użytkownika systemu. Interfejs użytkownika powinien być prosty, czytelny i łatwy w obsłudze nawet przez słabo przeszkolone osoby. Powinien umożliwiać prowadzenie dialogu użytkownika z systemem bez pomocy dodatkowych narzędzi i programów. Konkluzje powinny być jednoznaczne.

Powyższe wymagania względem systemu ekspertowego zostały zestawione w Tabeli 3.1., która dodatkowo zawiera dopuszczalne warianty kryteriów wraz z punktacją odzwierciedlającą znaczenie przy ocenie modelu systemu ekspertowego.

Tabela 3.1. Kryteria oceny konstrukcji modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji

Symbol	Nazwa kryterium	Warianty kryterium	Punkty
K_1	Rodzaj systemu ekspertowego	1. Dedykowany	0,4
		2. Szkieletowy	0,6
K_2	Struktura wewnętrzna	1. Regułowa	0,1
		2. Tablicowa	0,1
		3. Hybrydowa	0,3
		4. Rozproszona	0,5
K_3	Interfejs użytkownika	1. Tekstowy	0,1
		2. Graficzny	0,4
		3. Internetowy	0,5
K_4	Akwizycja wiedzy	1. Niemożliwa	0,1
		2. Możliwa przez specjalistę	0,3
		3. Łatwa do przeprowadzenia	0,6

K_5	Praca z systemem	1. Trudna, wymagająca wiedzy i doświadczenia 2. Trudna ale możliwa do opanowania 3. Łatwa po intensywnym szkoleniu 4. Łatwa nawet dla przypadkowych osób	0,1 0,2 0,3 0,4
K_6	Koszty budowy	1. Duże 2. Znaczące 3. Niewielkie	0,1 0,3 0,6
K_7	Odzwierciedlenie wiedzy eksperta	1. Pełne 2. Niepełne 3. Jedynie wycinkowe	0,6 0,3 0,1
K_8	Bezawaryjność i stabilność pracy	1. Brak błędów programowania i implementacji sprzętowej 2. Drobne błędy nie wypływające na prace systemu 3. Liczne błędy utrudniające normalną pracę	0,5 0,4 0,1
K_9	Współpraca z aplikacjami zewnętrznymi	1. Automatyczna 2. Ręczna 3. Nie występuje	0,6 0,3 0,1
K_{10}	Środowisko pracy	1. Jednostanowiskowe 2. Wielostanowiskowe 3. Sieciowe	0,2 0,3 0,5
K_{11}	Możliwości rozwoju systemu	1. Strukturalne 2. Częściowe 3. Utrudnione 4. Niemożliwe	0,5 0,3 0,1 0,1
K_{12}	Łatwość testowania	1. Duża 2. Wystarczająca 3. Niedostateczna	0,5 0,4 0,1

Źródło: Opracowanie własne

Stosując przedstawione kryteria oceny możemy przygotować odpowiedz na pytanie jaka jest konstrukcja modelu systemu ekspertowego. Sumując wartości punktowe związane z wariantami kryteriów w tabeli oceny systemu ekspertowego możemy uzyskać wartość punktową KO obliczaną według poniższego wzoru:

$$KO = \frac{\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{n_i}(w_{ij} \times k_{ij})}{\sum_{i=1}^{12}\max_{j}(w_{ij})}$$

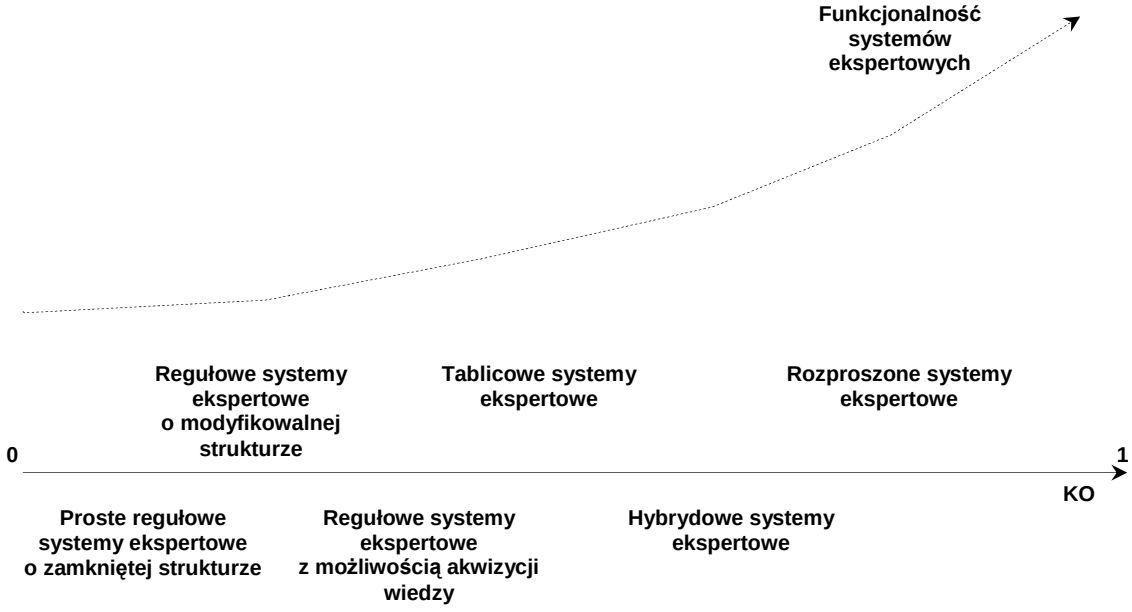
gdzie:

n_i – liczba możliwych wariantów dla kryterium i

k_{ij} – 1 jeżeli dla kryterium i wybrano wariant j, 0 – w przeciwnym wypadku

w_{ij} – punkty przydzielone dla wariantu j dla kryterium i ($\forall i : \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1$)

Im większa wartość uzyskanej wartości punktowej tym bardziej nowoczesne i funkcjonalne rozwiązania zastosowano przy budowie modelu systemu ekspertowego (Rys. 3.1.). Uzyskana wartość punktowa może posłużyć również do próby umieszczenia konkretnego rozwiązania na mapie możliwości systemów ekspertowych (Rys. 3.3.).



Rys. 3.1. Schematyczna ocena konstrukcji modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji w oparciu o wartość punktową KO

Źródło: Opracowanie własne

b) ocena przydatności modelu wspomagania podejmowania decyzji

Po ocenie konstrukcji modelu systemu ekspertowego i potwierdzeniu jego funkcjonalności, powinna nastąpić weryfikacja przydatności w rozwiązywaniu postawionych przed nim zadań.

Kryteria oceny przydatności modelu systemu ekspertowego w rozwiązywaniu problemu decyzyjnego zestawiono w Tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Kryteria oceny przydatności modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji

Symbol	Nazwa kryterium	Warianty kryterium	Punkty
P_1	Rozwiązywanie podstawnego problemu decyzyjnego	1. W całości 2. Fragmentarycznie 3. W małym stopniu	0,6 0,3 0,1
P_2	Adekwatność konkluzji w stosunku do problemu decyzyjnego	1. Pełna 2. Znaczna 3. Częściowa 4. Zadowalająca	0,4 0,3 0,2 0,1
P_3	Jakość/dokładność konkluzji	1. Konkluzje dające możliwość podjęcia decyzji 2. Podjęcie decyzji możliwe ale nie wynika bezpośrednio z konkluzji 3. Podjęcie decyzji wymaga dodatkowych działań	0,5 0,3 0,2
P_4	Forma konkluzji	1. Czytelna dla każdego 2. Czytelna dla osób obeznanych z tematem 3. Wymagająca interpretacji przez specjalistę 4. Wymagająca weryfikacji z wykorzystaniem innych programów	0,4 0,3 0,2 0,1
P_5	Uzasadnienie konkluzji	1. Występuje domyślnie 2. Występuje ale trzeba je dodatkowo wywołać 3. Występuje ale nie wprost 4. Nie występuje	0,4 0,3 0,2 0,1

P_6	Szybkość otrzymania konkluzji	1. Konkluzje w określonym (dopuszczalnym) czasie 2. Otrzymanie konkluzji jest czasochłonne 3. Otrzymanie konkluzji w czasie zbliżonym do rozwiązań klasycznych	0,5 0,3 0,2
P_7	Pewność otrzymania konkluzji	1. System zawsze generuje konkluzje na poprawnie przedstawiony problem 2. System próbuje znaleźć rozwiązanie nawet do częściowo poprawnie określonego problemu 3. Zdarza się że system nie znajduje rozwiązania	0,5 0,4 0,1
P_8	Rozwiązywanie dodatkowych problemów decyzyjnych (poza podstawowym)	1. Wykonalne 2. Wykonalne przy udziale innych narzędzi 3. Nie wykonalne	0,5 0,4 0,1
P_9	Nakłady kosztów i środków związanych z otrzymaniem konkretnej konkluzji	1. Niskie 2. Znaczące 3. Duże	0,6 0,3 0,1
P_{10}	Koszty utrzymywania systemu ekspertowego	1. Niskie 2. Znaczące 3. Duże	0,6 0,3 0,1
P_{11}	Odporność na źle zdefiniowany problem decyzyjny	1. System próbuje znaleźć rozwiązanie mimo błędu 2. System znajduję błąd i jedynie go sygnalizuje 3. System nie uruchamia się	0,6 0,3 0,1
P_{12}	Możliwości symulacyjne	1. W pełni wykonywalne 2. Częściowe 3. Utrudnione	0,6 0,3 0,1

Źródło: Opracowanie własne

Stosując przedstawione kryteria oceny możemy poznać odpowiedz na pytanie jaka jest przydatność stworzonego modelu systemu ekspertowego.

Sumując wartości punktowe związane z wariantami kryteriów w tabeli oceny systemu ekspertowego możemy uzyskać sumaryczną wartość punktową PO obliczaną według poniższego wzoru:

$$PO = \frac{\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{n_i}(w_{ij} \times p_{ij})}{\sum_{i=1}^{12}\max_{j}(w_{ij})}$$

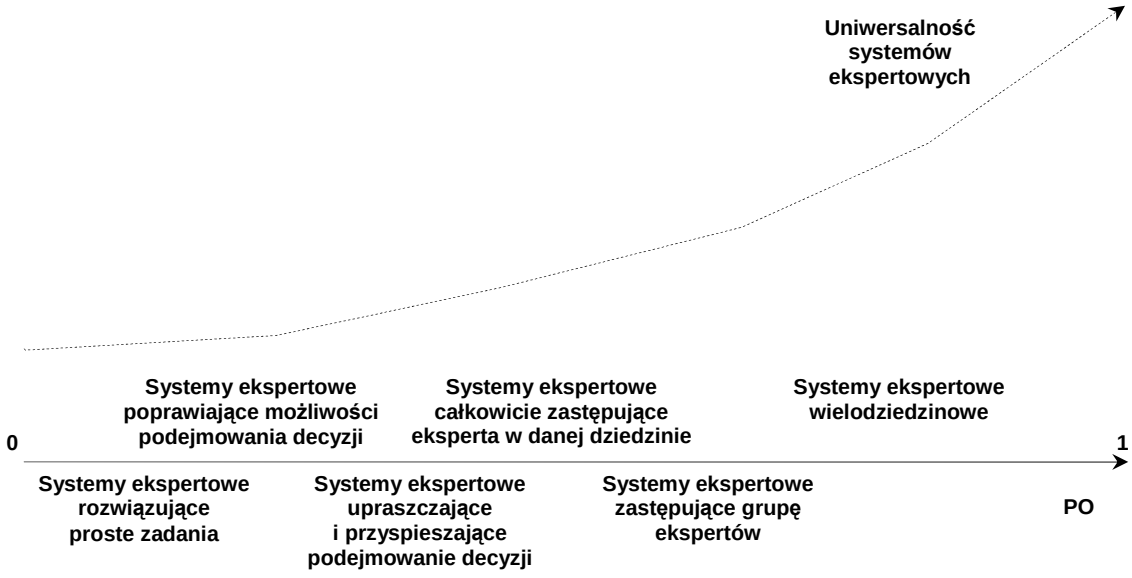
gdzie:

n_i – liczba możliwych wariantów dla kryterium i

p_{ij} – 1 jeżeli dla kryterium i wybrano wariant j, 0 – w przeciwnym wypadku

w_{ij} – punkty przydzielone dla wariantu j dla kryterium i ($\forall i : \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1$)

Im większa wartość uzyskanej sumy punktów tym bardziej przydatny w rozwiązywaniu danego problemu decyzyjnego staje się model systemu ekspertowego (Rys. 3.2.). Wraz ze wzrostem wartości punktowej PO rośnie również uniwersalność systemów ekspertowych.



Rys. 3.2. Schematyczna ocena przydatności modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji w oparciu o wartość punktową PO

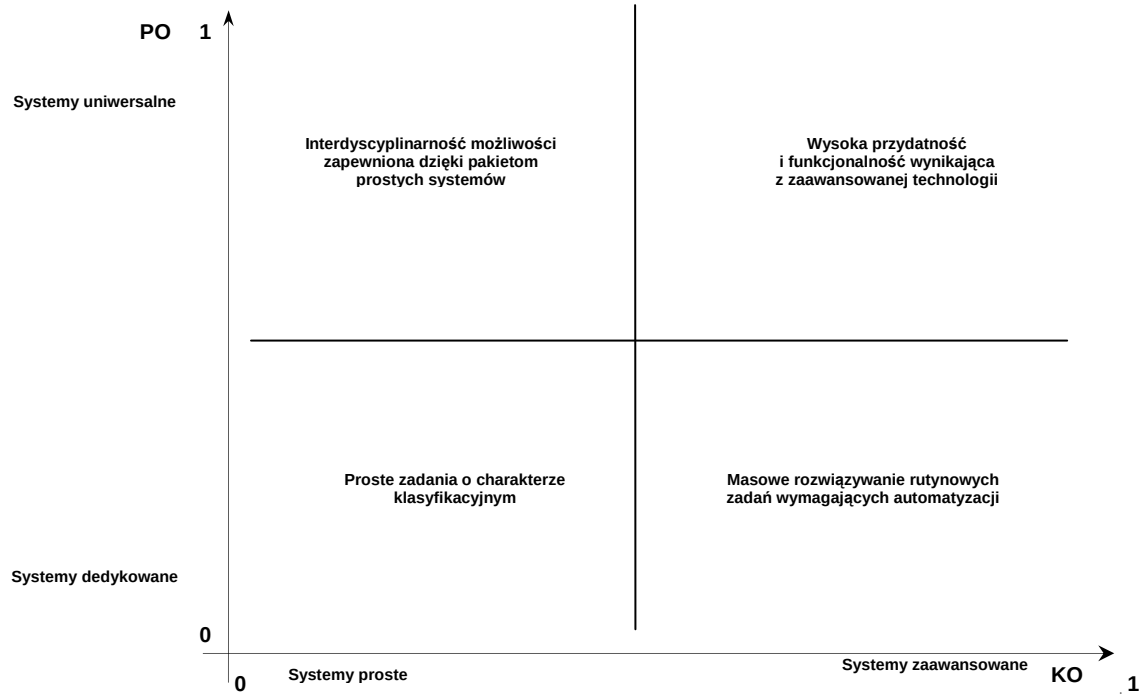
Źródło: Opracowanie własne

c) mapa możliwości systemów ekspertowych wspomagania decyzji

Cechy stworzonego modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji tworzą mapę jego możliwości. Mapa odzwierciedla zatem ocenę modelu systemu ekspertowego jak i stopień przydatności we wspomaganiu decyzji.

Przy tworzeniu mapy możliwości systemu ekspertowego wspomagania decyzji wykorzystać należy zarówno wartość punktową KO, odzwierciedlającą ocenę konstrukcji modelu (tworzy oś OX mapy możliwości systemu) oraz wartość punktową PO (tworzy oś OY mapy możliwości systemu), wskazującą na przydatność i uniwersalność modelu we wspomaganiu decyzji.

Na mapie możliwości systemu ekspertowego wspomagania decyzji można wyróżnić cztery podstawowe obszary świadczące o różnych możliwościach tych systemów. To jaki obszar odpowiada możliwościom danego systemu ekspertowego zależy od składowych wartości punktowych KO oraz PO ustalanych odrębnie dla każdego przypadku modelu systemu ekspertowego (Rys. 3.3.)



Rys. 3.3. Mapa możliwości systemu ekspertowego

Źródło: Opracowanie własne

Cząstkowa ocena konstrukcji wykonanego modelu systemu ekspertowego opierająca się na przedstawionych w Tab. 3.1. kryteriach daje następujące wartości:

– Rodzaj systemu ekspertowego:	Szkieletowy	0,6 pkt
– Struktura wewnętrzna	Hybrydowa	0,3 pkt
– Interfejs użytkownika	Graficzny	0,4 pkt
– Akwizycja wiedzy	Możliwa przez specjalistę	0,3 pkt
– Praca z systemem	Łatwa nawet dla przypadkowych osób	0,4 pkt
– Koszty budowy	Niewielkie	0,6 pkt
– Odzwierciedlenie wiedzy eksperta	Niepełne	0,3 pkt
– Bezawaryjność i stabilność pracy	Drobne błędy nie wypływające na prace systemu	0,4 pkt
– Współpraca z aplikacjami zewnętrznymi	Ręczna	0,3 pkt
– Środowisko pracy	Jednostanowiskowe	0,2 pkt
– Możliwości rozwoju systemu	Częściowe	0,3 pkt
– Łatwość testowania	Wystarczająca	0,4 pkt

Łączna ocena konstrukcji wykonanego modelu systemu ekspertowego w oparciu o wartość punktową *KO* wynosi:

$$KO = \frac{4,5}{6,4} = 0,7$$

co w sytuacji, w której wartości współczynnika *KO* pochodzić mogą z przedziału <0,1> świadczy o dość wysokiej ocenie konstrukcji wykonanego systemu ekspertowego oraz jego znacznej funkcjonalności.

Cząstkowa ocena przydatności wykonanego modelu systemu ekspertowego w rozwiązywaniu postawionych przed nim zadań wiąże się oceną przedstawionych w Tab. 3.2. kryteriów co daje następujące wyniki:

– Rozwiązywanie podstawnego problemu decyzyjnego	Fragmentarycznie	0,3 pkt
– Adekwatność konkluzji w stosunku do problemu decyzyjnego	Znaczna	0,3 pkt
– Jakość/dokładność konkluzji	Konkluzje dające możliwość podjęcia decyzji	0,5 pkt
– Forma konkluzji	Czytelna dla każdego	0,4 pkt

– Uzasadnienie konkluzji	Występuje ale trzeba je dodatkowo wywołać	0,3 pkt
– Szybkość otrzymania konkluzji	Konkluzje w określonym (dopuszczalnym) czasie	0,5 pkt
– Pewność otrzymania konkluzji	System zawsze generuje konkluzje na poprawnie przedstawiony problem	0,5 pkt
– Rozwiązywanie dodatkowych problemów decyzyjnych (poza podstawowym)	Wykonalne przy udziale innych narzędzi	0,4 pkt
– Nakłady kosztów i środków związanych z otrzymaniem konkretnej konkluzji	Niskie	0,6 pkt
– Koszty utrzymywania systemu ekspertowego	Niskie	0,6 pkt
– Odporność na źle zdefiniowany problem decyzyjny	System znajduję błąd i jedynie go sygnalizuje	0,3 pkt
– Możliwości symulacyjne	Częściowe	0,3 pkt

Łączna ocena przydatności wykonanego modelu systemu ekspertowego w rozwiązywaniu postawionych przed nim zadań w oparciu o wartość punktową *PO* wynosi:

$$PO = \frac{5,0}{6,2} = 0,8$$

co w sytuacji, w której wartości współczynnika *PO* pochodzić mogą z przedziału <0,1> świadczy o dość wysokiej ocenie przydatności wykonanego systemu ekspertowego w rozwiązywaniu danego problemu decyzyjnego oraz jego znaczącej uniwersalności.

Ogólna ocena systemu ekspertowego wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji w oparciu o przedstawioną koncepcję mapy możliwości systemu ekspertowego wspomagania decyzji, umiejscawia stworzony system w obszarze przewidzianym dla zaawansowanych rozwiązań o uniwersalnym charakterze, to jest systemów o wysokiej przydatności i znacznej funkcjonalności wynikającej z zaawansowanej technologii (obszar w prawym górnym rogu mapy możliwości systemu ekspertowego – Rys. 3.3.).

d) symulacja efektów zastosowania systemu ekspertowego

W celu oceny wpływu zastosowania sytemu ekspertowego na skrócenie czasu udzielania odpowiedzi na zapytanie ofertowe klienta przeprowadzone zostały badania symulacyjne. W pierwszej kolejności za pomocą diagramów BPMN (ang. *Business Process Modeling Notation*) opisano dotychczasowy oraz usprawniony proces obsługi zapytania ofertowego w drukarni.

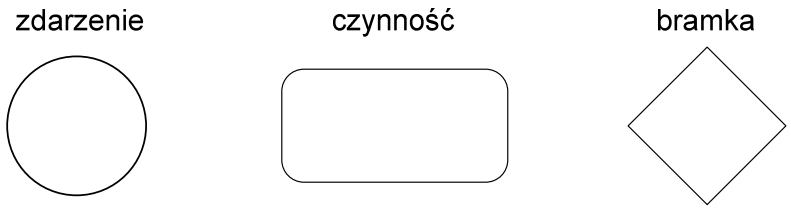
BPMN jest standardem modelowania procesów biznesowych stworzonym przez BPMI (ang. *Business Process Management Initiative*). Standard ten oparty na metodach matematycznych, posiada zaletę, którą jest jednoznaczność w opisie modelowanych procesów. Wspierany przez ponad 30 firm wiodących w dziedzinie produkcji oprogramowania dla przedsiębiorstw (m.in. IBM, Oracle) standard BPMN doskonale sprawdza się w modelowaniu przepływów pracy.

BPMN został zaprojektowany w sposób umożliwiający prosty system notacji procesów biznesowych, jak również pozwalający na modelowanie procesów o wysokim stopniu skomplikowania. Elementy notacji oferowane przez BPMN obejmują:
- podstawowy zestaw elementów (elementy standardowe),
- rozszerzony zestaw elementów.

Podstawowy zestaw elementów notacji zawiera wszystkie elementy potrzebne do projektowania prostych procesów biznesowych. Zestaw rozszerzony zawiera dodatkowe elementy, dzięki którym możliwe staje się modelowanie bardziej skomplikowanych, wielowątkowych procesów. Zestawy zawierają cztery podstawowe kategorie elementów:
- obiekty przebiegu,
- połączenia obiektów,
- tory,
- artefakty.[126]

[126] White S. A., *Introduction to BPMN* , IBM Corporation 2004, s. 1–4

Główne *obiekty przebiegu* z zestawu podstawowego to zdarzenie, działanie oraz bramka.



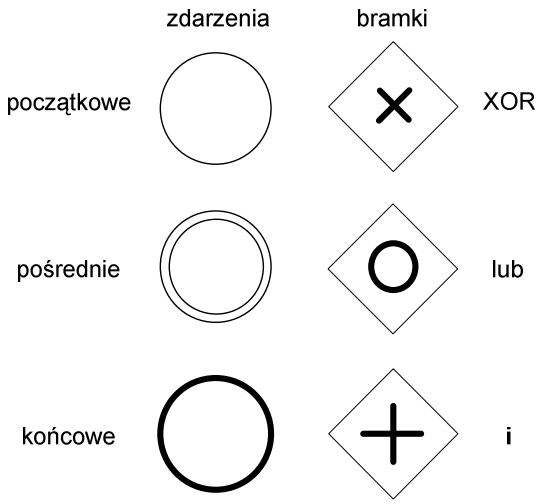
Rys. 3.4. Podstawowy zestaw elementów standardu BPMN

Źródło: White S. A., *Introduction to BPMN* , IBM Corporation 2004, s. 1–4

Piktogram reprezentowany przez okrąg oznacza zdarzenie mające miejsce podczas trwania procesu biznesowego. Dodatkowe symbole z zestawu rozszerzonego umieszczane są wewnątrz piktogramu zdarzenia podstawowego i wskazują na jego typ (początkowe, pośrednie lub końcowe) oraz na jego wyzwalacz (czasowy, mailowy, inny). Zaokrąglony prostokąt przedstawia kolejny kluczowym elementem standardu BPMN, to jest czynność reprezentującą zasadniczą jednostkę pracy. Zaokrąglony prostokąt używany jest również do przedstawienia procesu lub podprocesu.

Ostatnim obiektem w podstawowym zestawie elementów BPMN jest bramka, która reprezentowana jest przez rąb i oznacza rozwidlenie lub złączenie procesu (łącznik). Podobnie jak w przypadku zdarzenia, bramka zostaje uzupełniona symbolem z zestawu rozszerzonego o elementy wskazujące na jej typ (bramka typu: XOR, lub, i).

Na rysunku 3.5 przedstawione zostały dodatkowe symbole służące do wskazywaniu typu zdarzeń oraz bramek, wchodzące w skład rozszerzonego zestawu elementów standardu BPMN .



Rys. 3.5. Zdarzenia i bramki standardu BPMN

Źródło: White S. A., *Introduction to BPMN* , IBM Corporation 2004, s. 1–4

Głównym elementem z kategorii *połączenia obiektów* jest strzałka reprezentująca przebieg procesu. Łączy ona miedzy sobą różne obiekty tj. zdarzenia, działania oraz bramki.

Kategoria *tory* składa się z jednego obiektu tzw. toru przepływu (ang. *swimming lane*) reprezentującego poszczególnych uczestników procesu biznesowego. Oznaczone piktogramami czynności na danym torze przepływu są realizowane przez danego uczestnika procesu biznesowego, co znacznie ułatwia grupowania czynności względem ich wykonawców.

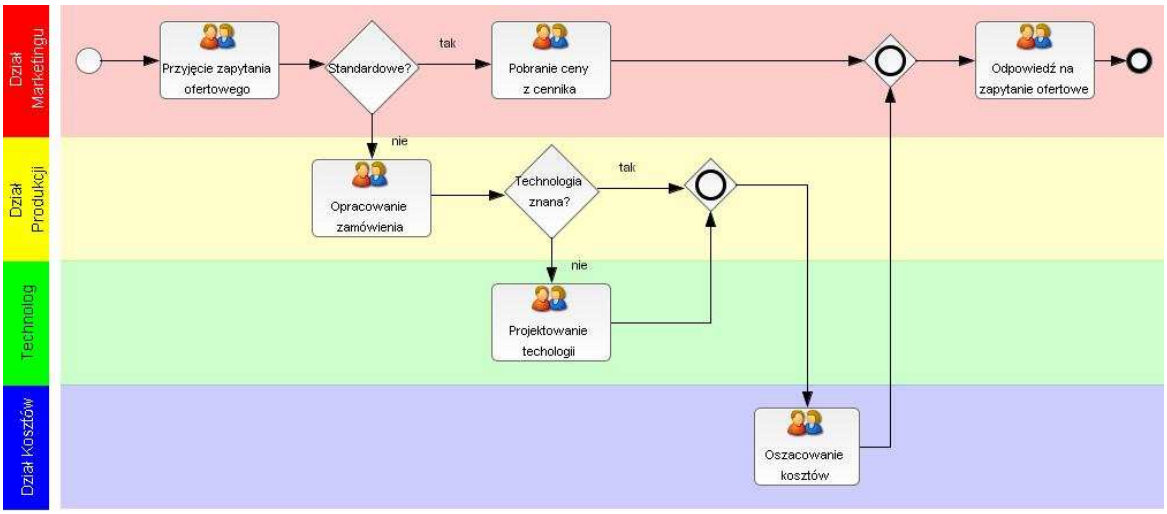


Rys. 3.6. Tor przepływu w standardzie BPMN

Źródło: White S. A., *Introduction to BPMN* , IBM Corporation 2004, s. 1–4

W tradycyjnym przebiegu procesu osoba w Dziale Marketingu przyjmuje zapytanie ofertowe i ocenia czy zamówione pozycje są ujęte w cenniku wyrobów standardowych. Jeżeli tak jest, cena bazowa dla klienta pomniejszona o ewentualne rabaty odczytywana jest z cennika i na tej podstawie przygotowywana jest odpowiedź dla klienta.

Jeżeli którejś z pozycji nie ma w cenniku, wówczas zamówienie przekazywane jest do Działu Produkcji celem jego opracowania. Uprawniony pracownik w Dziale Produkcji sprawdza czy technologia wykonania danego wyrobu jest znana czy wymaga opracowania przez technologa. Po zakończeniu doboru technologii dla wykonania zamówionych wyrobów, zamówienie przekazywane jest do Działu Kosztów w celu oszacowania kosztów produkcji. W oparciu o przekazane przez Dział Kosztów informacje opracowywana jest odpowiedź na zapytanie ofertowe, którą przekazuje się klientowi. Przebieg opisanego procesu ilustruje Rys. 3.7.

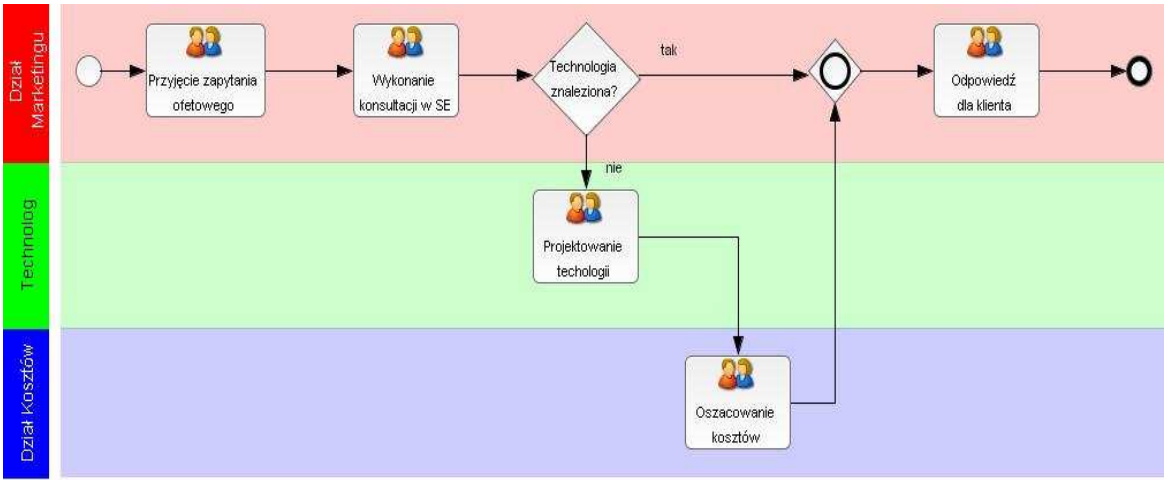


Rys. 3.7. Schemat BPMN obecnego procesu generowania odpowiedzi dla klienta

Źródło: Opracowanie własne

Zastosowanie sytemu ekspertowego pozwala na wyeliminowanie operacji opracowania zamówienia w Dziale Produkcji. Jeżeli mimo konsultacji z systemem ekspertowym nie znaleziona zostanie technologia wykonania określonego wyrobu, zapytanie kierowane jest do technologa celem opracowania technologii dla jego wykonania.

Po określeniu technologii zapytanie przekazywane jest do Działu Kosztów z zadaniem oszacowania kosztów wykonania wyrobów w nowej technologii. Przygotowana w ten sposób odpowiedź przesyłana jest klientowi. Równocześnie system ekspertowy uaktualniany jest o nową technologię. Zmodyfikowany proces obsługi zapytania ofertowego prezentuje Rys. 3.8.



Rys. 3.8. Schemat BPMN procesu generowania odpowiedzi dla klienta z wykorzystaniem systemu ekspertowego

Źródło: Opracowanie własne

Badanie symulacyjne porównujące czas przygotowania odpowiedzi na zapytanie ofertowe klienta w obu wariantach przebiegu tego procesu przeprowadzono w programie Savvion Process Modeler. Program ten jest częścią systemu Savvion Process Manager[127], pierwszego na rynku rozwiązania opartego na BPMN, które dostarcza kompletnych narzędzi wspomagających całość zarządzania procesami biznesowymi od modelowania procesów w przedsiębiorstwie do projektowania i wdrażania usprawnień oraz zarządzania nowymi procesami.

Każdorazowo symulacja wykonywana była dla 100 zapytań, wpływających średnio co 1 godzinę z odchyleniem wynoszącym 15 minut. Tabela 3.3 pokazuje pozostałe, przyjęte w badaniu parametry symulacji.

[127] http://www.savvion.com/bpm-products/businessmanager-7.php

Tabela 3.3. Wartości parametrów w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych

Czynność	Jednostka organizacyjna	Czas [min.]	Odchylenie [min.]
Przyjęcie zapytania ofertowego	Dział Marketingu	15	3
Pobranie ceny z cennika	Dział Marketingu	5	1
Opracowanie zamówienia	Dział Produkcji	60	15
Projektowanie technologii	Technolog	120	30
Oszacowanie kosztów	Dział Finansów	60	15
Odpowiedź na zapytanie ofertowe	Dział Marketingu	15	3
Wykonanie konsultacji w SE	Dział Marketingu	5	1
Odsetek zamówień standardowych		30%	
Odsetek zamówień wymagających opracowania technol.		50%	

Źródło: Opracowanie własne

Przebieg pojedynczej symulacji powtarzany był 30 razy dla każdego z wariantów. Średnie czasy przebiegu poszczególnych procesów oraz odchylenia standardowe z 30 prób zostały przestawione w Tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Wyniki przeprowadzonej symulacji

	Wariant z SE	Wariant aktualny
średnia [min]	204,0	276,3
odchylenie [min]	5,72	5,87

Źródło: Opracowanie własne

Dla otrzymanych rezultatów policzono następnie wartość testu[128] U dla hipotezy o równości wartości oczekiwanych H_0: $\mu_1 = \mu_2$. Wyniosła ona U = -48,31. Dla poziomu istotności α = 0,01 wartość krytyczna $u_{0,01}$ wynosi 2,32. Oznacza to, że należy odrzucić hipotezę H_0 na rzecz H_1: $\mu_1<\mu_2$. Innymi słowy z 99% prawdopodobieństwem można stwierdzić, że wariant procesu obsługi zamówień z wykorzystaniem systemu ekspertowego jest szybszy aniżeli wariant aktualnie funkcjonujący w przedsiębiorstwie. Badania symulacyjne pokazały, że można liczyć na około 26% skrócenie czasu przebiegu całego procesu od przyjęcia zamówienia ofertowego do przygotowania odpowiedzi dla klienta.

[128] Domański C., *Testy statystyczne*, PWE, Warszawa 1990, s. 113

3.2. Sprecyzowanie kierunków rozwoju przyjętego rozwiązania

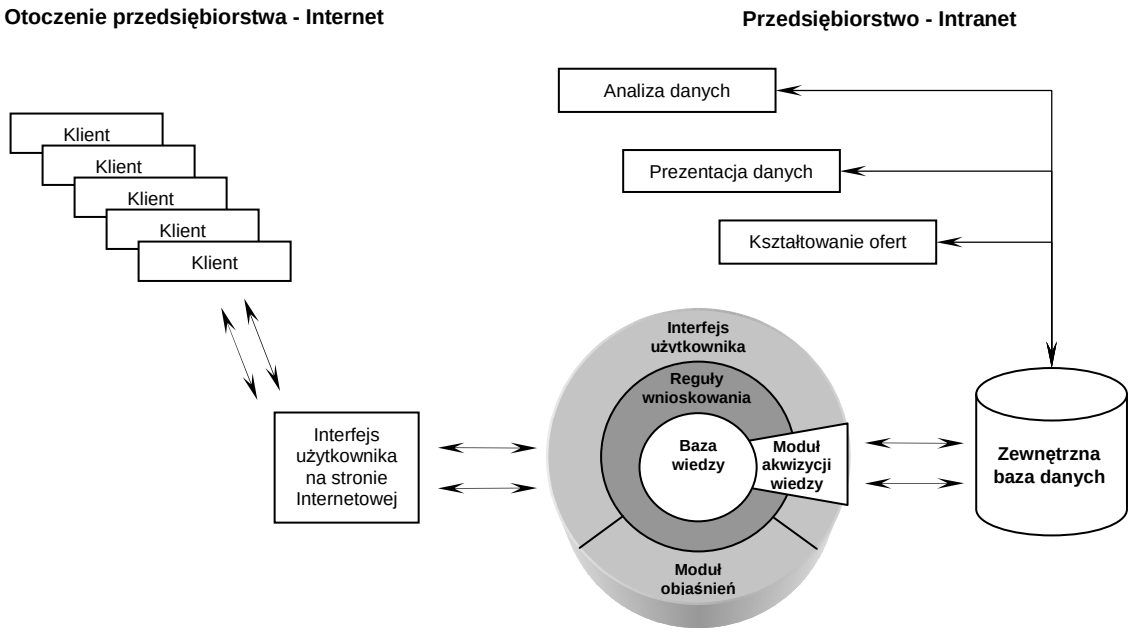
Zaproponowany system ekspertowy wspomagania decyzji w procesach przygotowania produkcji dostosowany został do aktualnych potrzeb przedsiębiorstwa, w którym będzie funkcjonował, to jest do potrzeb drukarni realizującej bezpośrednie zamówienia klientów. Jednak w przyszłości, gdy rozwinie się działalność przedsiębiorstwa w zakresie ilości klientów, wielkości zamówień czy złożoności oferty, potrzeba będzie rozszerzonej funkcjonalności tego systemu ekspertowego.

Sugerowane przez Zarząd drukarni potencjalne zmiany w sposobie funkcjonowania tego przedsiębiorstwa w niedalekiej przyszłości mogą obejmować rozwój oferowanych usług, a następnie ekspansję terytorialną.

a) rozwój oferowanych usług

Wraz z rozwojem oferowanych usług konieczne jest rozwijanie aktualnego modelu systemu ekspertowego, a wymagany kierunek tych ulepszeń powinien być zgodny z nowymi potrzebami przedsiębiorstwa, w którym jest użytkowany.

W omawianej drukarni zwiększenie funkcjonalności systemu ekspertowego obejmowałoby wprowadzenie interfejsu zlokalizowanego na stronie internetowej celem umożliwienia klientom występnej, bieżącej kalkulacji kosztów swoich potencjalnych zamówień. Na podstawie wyników otrzymanych po sesji z udziałem tak zmodyfikowanego systemu ekspertowego, klient miałby możliwość szybkiego porównywania cen z innymi ofertami przygotowanymi przez konkurencję. W krótkim okresie czasu klient mógłby wiec sprawdzić samodzielnie różne warianty swojego zamówienia i wybrać ten, który byłby dla niego najbardziej korzystny. Proces symulacjyjny byłby w stanie wykonać bez angażowania pracowników po stronie drukarni, całkowicie anonimowo, bez żadnych zobowiązań co do konieczności ostatecznego wyboru zlecenia (Rys.3.9.).



Rys.3.9. Schemat systemu ekspertowego z interfejsem zlokalizowanym na stronie internetowej

Źródło: Opracowanie własne

W przypadkach poszukiwania przez klienta korzystnej dla siebie oferty, przede wszystkim oprócz ceny ważny jest również czas otrzymania odpowiedzi na zapytanie ofertowe, dlatego proponowane rozwiązanie byłoby dodatkowym atutem i pomogłoby w wyborze ofert omawianej drukarni.

Zlokalizowanie interfejsu systemu ekspertowego na stronie internetowej, oprócz korzyści wynikających ze sprawnej obsługi klientów pod względem ofert, może dostarczyć właścicielowi takiego systemu bardzo wiele cennych informacji związanych z preferencjami potencjalnych nabywców. Na podstawie tych informacji można kształtować zakres oferowanych produktów i usług, wprowadzać odpowiednie akcje promocyjne, stosować upusty czy inne zachęty cenowe stosownie do zapotrzebowania rynkowego. Pozyskane tą drogą informacje bardzo trudno uzyskać by było w inny sposób, na przykład na podstawie badania rynku, gdyż dotarcie w krótkim czasie czasu do odpowiednich klientów zainteresowanych usługami drukarskimi oraz ciągły ich monitoring, otrzymanie wiarygodnych informacji i ich przetworzenie wymaga czasu oraz wysokich nakładów pieniężnych.

System ekspertowy z interfejsem zlokalizowanym na stronie internetowej, dostępny „on line" 24 godziny na dobę dla każdego posługującego się przeglądarką internetową w połączeniu z odpowiednią bazą danych, gromadząca informacje o zachowaniach jego użytkowników, doskonale nadaje się do celów pozyskania wiedzy o preferencjach klientów. Ze względu na fakt iż klient może anonimowo sprawdzać wyliczenie cenowe i czas realizacji swoich potencjalnych zamówień, uzyskać można autentyczną wiedzę o potrzebach klientów. Wiedza ta w zestawieniu z danymi o rzeczywistych, późniejszych zamówieniach pozwala na wyciąganie wniosków co do atrakcyjności własnej oferty, na przykład poprzez obliczenie proporcji między sprawdzonymi wariantami ofert a ofertami faktycznie zrealizowanymi, a także o ogólnej popularności danej strony internetowej świadczącej o znajomości danego usługodawcy czy producenta. Nie bez znaczenia jest również możliwa do pozyskania za pomocą proponowanego rozwiązania wiedza o sezonowości zachowań klienckich i ich skali.

Tak wiec system ekspertowy z interfejsem zlokalizowanym na stronie internetowej oprócz podstawowych funkcji zmierzających do odpowiedzi na zapytanie ofertowe klientów, mogące przybrać z czasem charakter zadań symulacyjnych w tym obszarze, realizowałby dodatkowe funkcje gromadzenia danych istotnych z punktu widzenia przygotowywania ofert. Funkcja gromadzenia danych dla przedsiębiorstwa wiązałaby się z wykorzystaniem bazy danych i narzędzia w postaci programu do statystycznej obróbki zgromadzonych informacji.

Większość szkieletowych systemów ekspertowych ma możliwość połączenia z gotową bazą danych. Również program PC Shell firmy AiTech z Katowic wykorzystywany do budowy modelu systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji ma taką możliwość. Różnorodność współczesnych pakietów statystycznych jak i kreatory zapytań wbudowane w mechanizmy obsługi baz danych zapewniają wystarczające możliwości tworzenia i prezentacji zagregowanych danych, występujących tendencji czy oszacowań statystycznych.

Można uznać, że rozbudowa zaprezentowanego rozwiązania w kierunku poszerzenia funkcjonalności o interfejs internetowy oraz możliwość gromadzenia danych dla celów statystycznych jest możliwa i powinna zapewnić po pewnym okresie użytkowania wykorzystującemu system przedsiębiorstwu wzrost przewagi konkurencyjnej.

b) ekspansja terytorialna

W świetle zamierzeń zarządu pozyskiwanie klientów z nowych rejonów kraju, a także z zagranicy, stanie się jedną ze strategii rozwojowych przedsiębiorstwa. Realizacja tego zadania wymagać będzie dostosowania aktualnego modelu systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji do funkcjonowania w ramach kilku oddziałów tego samego przedsiębiorstwa zlokalizowanych w różnych rejonach Polski, a także poza jej granicami.

Można zatem stwierdzić, że przyjęty w drukarni model systemu ekspertowego będzie należało rozwijać zgodnie z ewolucją systemów ekspertowych, to jest razem z potrzebami użytkowników inteligentnych systemów doradczych, którzy aktualnie coraz częściej ulegają tendencjom globalizacji. Globalizacja jako tendencja we współczesnym świecie dotyka bardzo wielu płaszczyzn życia społecznego i gospodarczego, przejawiając się głównie w postaci współdziałania między regionami czy państwami, a także pomiędzy koncernami i przedsiębiorstwami reprezentującymi różne regiony świata.

Przedsiębiorstwa pragnące dotrzymywać kroku postępującej globalizacji muszą również myśleć i działać globalnie, rozwijać się w oparciu o zasady globalnego rynku, poprzez poszukiwanie nowych rozwiązań w dziedzinie komunikacji, a także decentralizować swoje oddziały celem zmniejszenia kosztów funkcjonowania i czasu reakcji na potrzeby klientów.

Procesy globalizacyjne powodują, że firmy które chcą utrzymać się na rynku muszą dostosować się do nowych warunków, stać się bardziej niezależne od środowiska, w których przyjdzie im funkcjonować. Wiąże się to z decentralizacją narzędzi wspomagania decyzji, które powinny przybrać formę rozproszoną oraz współbieżną (realizującą wiele zadań jednocześnie), a dodatkowo posiadać możliwości samouczące, automatycznie powiększające swój potencjał intelektualny.

Wszystkie te czynniki wpływają przede wszystkim na większą funkcjonalność współczesnych systemów wspomagania decyzji. W przypadku rozproszonych systemów ekspertowych szczególnie ważne jest zapewnie połączenia niezależnych modułów decyzyjnych w jedną, spójną logicznie całość transparentną dla użytkownika końcowego, a także obniżenie kosztów funkcjonowania poprzez współdzielenie zasobów.

Dodatkowo o nowoczesności rozwiązań typu rozproszonego w przypadku systemów ekspertowych decyduje podatność na rozszerzenia funkcjonalne, czy wysoka odporność na błędy realizowana poprzez redundancję niektórych kluczowych modułów.

Obecnie w rozproszonych systemach ekspertowych coraz ważniejszą rolę odgrywa warstwa pośrednicząca, która zapewnić musi odpowiednio wydajny sposób komunikacji między rozproszonymi komponentami.

Współczesne przedsiębiorstwa, szczególnie te działające na rynku globalnym, muszą funkcjonować w niejednolitym i zmiennym otoczeniu, a tym samym realizować przepływ pracy, zadań, dokumentów oraz informacji do swoich rozproszonych komórek rozlokowanych nawet na różnych kontynentach.

Rozproszenie to wynika z chęci wykorzystania lokalnych walorów jak niższe podatki, dostępność siły roboczej i jej niski koszt, bliskość źródeł surowców, atrakcyjność rynków zbytu.

Celem zwiększenia wydajności współczesnych systemów ekspertowych w ich rozproszonej strukturze stosuje się zasady współbieżności. Współbieżność ma zapewnić równoległe a nie szeregowe przetwarzanie zadań tam, gdzie jest to możliwe i uzasadnione. Prowadzi to do skrócenia ogólnego czasu przetwarzania i zapewnia szybsze otrzymanie właściwej konkluzji ze strony systemu ekspertowego.

Jednak sama współbieżność przetwarzania jest tylko jednym z elementów rozproszonego systemu ekspertowego. Pozostałe równie ważne cechy rozproszonego systemu ekspertowego to przede wszystkim jego transparentność czyli przezroczystość dla użytkownika końcowego, która stwarza wrażenie posługiwania się pojedynczym, zintegrowanym programem.

Oprócz transparentności ważna jest otwartość na rozbudowę, możliwości uaktualniania czy realizacja rozszerzeń funkcjonalnych poprawiających komfort użytkowania i zapewniających sprawne komunikowanie się rozproszonych modułów systemu ekspertowego.

Początkowo rozproszonym system ekspertowym określano osobne, przestrzennie zdecentralizowane, odrębne moduły decyzyjne mogące współdziałać ze sobą lub też pojedynczą aplikację doradczą składającą się ze względnie samodzielnych i częściowo autonomicznych, współpracujących ze sobą narzędzi wspomagających decyzje. Jednak obecnie ważne jest, aby oprócz wspomnianych wcześniej cech występowało wśród elementów składowych również współdzielenie zasobów zapewniające wielu użytkownikom systemu korzystanie z tych samych zasobów wiedzy.

Konsekwencją zastosowania architektury rozproszonej jest dla systemu ekspertowego zwiększenie odporności na zakłócenia i błędy w funkcjonowaniu, a także możliwość przeciwdziałania przestojom lub unikanie awarii dzięki zwielokrotnieniu kluczowych modułów, ich fizycznym odseparowaniu i bezpiecznym rozmieszczeniu.

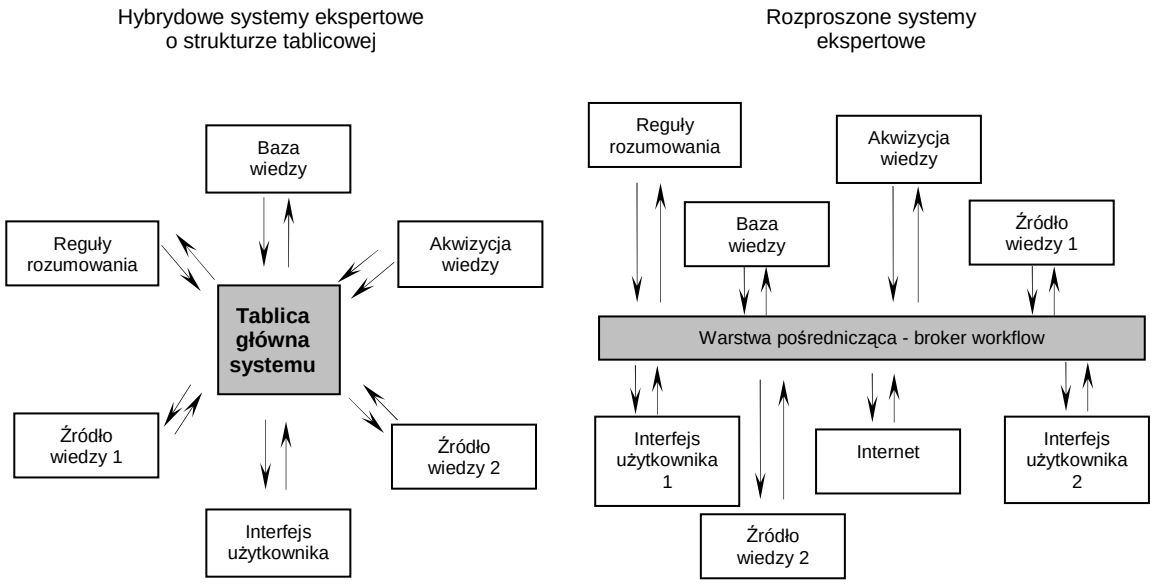
Jest to szczególnie ważne przy militarnych zastosowaniach systemów ekspertowych lub zastosowaniach cywilnych ale o strategicznym znaczeniu jak obsługa portów lotniczych, elektrowni atomowych, zakładów chemicznych czy sieci elektroenergetycznych.

Ważną cecha nabywaną przez system ekspertowy o architekturze rozproszonej jest skalowalność, czyli wzrost możliwości funkcjonalnych wraz z rozbudową struktury rozproszonej, rozumiany jako zwiększenie szybkości działania, poprawa jakości otrzymywanych konkluzji, czy dostępność ekspertyz w miejscach lub czasie dotychczas nie uwzględnianych.

Pamiętając, że rozproszony system ekspertowy jako zbiór niezależnych modułów decyzyjnych musi być połączony w jedną, spójną logicznie całość, należy podkreślić znaczącą rolę jaką odgrywa warstwa pośrednicząca, która zapewnić musi odpowiednio wydajny sposób komunikacji między rozproszonymi komponentami.

Od jej wydajności oraz logicznej spójności w dużej mierze zależy prawidłowe funkcjonowanie rozproszonego systemu ekspertowego, sprawna komunikacja pomiędzy elementami składowymi, a także właściwe współdzielenie zasobów zapewniające wielu użytkownikom systemu korzystanie z tych samych zasobów wiedzy. Tak wiec użyteczność rozproszonych systemów ekspertowych zależeć będzie od optymalnej struktury warstwy pośredniczącej, od jej mechanizmów funkcjonowania oraz wbudowanej automatyzacji przepływu danych i procesów.

Dotychczasowe systemy ekspertowe wykształciły jako najbardziej zaawansowaną architekturę hybrydową, w której wykorzystuje się struktury tablicowe. W rozproszonych systemach ekspertowych struktura wewnętrzna jest bardziej skomplikowana, gdyż dochodzi jeszcze jeden element mianowicie warstwa pośrednicząca, którą mogą tworzyć odrębne systemy zarządzania przepływem pracy w postaci tak zwanych brokerów wokrflow (Rys. 3.10.).



Rys. 3.10. Tablicowa i rozproszona struktura systemów ekspertowych

Źródło: Opracowanie własne

Zadaniem brokerów workflow, czyli integracyjnych systemów zarządzania przepływem danych i procesów jest efektywna oraz uporządkowana wymiana informacji pomiędzy aplikacjami czy modułami, niezależnie od sposobu jej reprezentacji oraz miejsca powstania, oraz co najważniejsze, zarządzanie przepływem tych informacji.

W obrębie tego samego rozproszonego środowiska ekspertowego mogą wiec występować narzędzia i moduły oparte o proste schematy komunikacji sterowane zdarzeniami, oraz aplikacje z bardziej zaawansowanymi mechanizmami na przykład publikacji a także subskrypcji informacji.

Rozproszone systemy ekspertowe są kolejnym krokiem w rozwoju inteligentnych aplikacji komputerowych, których zadaniem jest naśladowanie sposobu działania eksperta i rozwiązywania przez niego problemów. Potrzeba istnienia tego typu systemów wynika aktualnie z postępującej globalizacji, a co za tym idzie decentralizacji i rozproszeniu komórek przedsiębiorstwa.

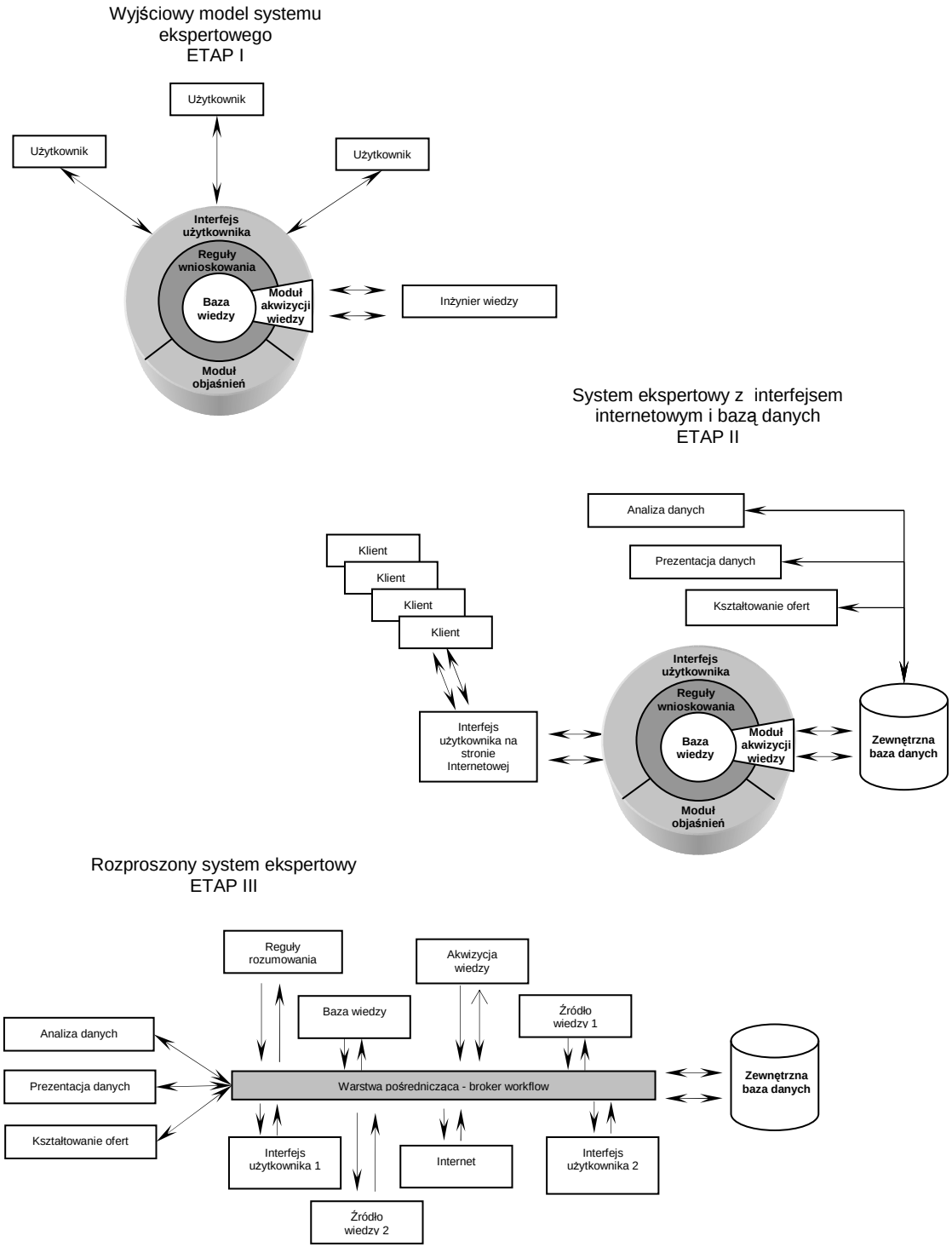
Równie ważnym powodem budowy i wykorzystywania rozproszonych systemów ekspertowych jest chęć udostępnienie funkcji wspomagających podejmowanie decyzji wielu użytkownikom, a także umożliwienie współdzielenia przez nich zasobów wiedzy. Wszystko to jednak musi odbywać się w sposób transparentny dla użytkownika końcowego, tak aby miał on poczucie korzystania ze zintegrowanej aplikacji o dużym potencjale intelektualnym.

Podsumowując należy stwierdzić, że rozwój przedstawionego modelu systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji może przebiegać etapowo, zgodnie z zapotrzebowaniem na poszerzoną funkcjonalność (Rys. 3.11.).

Mimo że przedstawione etapy rozbudowy modelu systemu można byłoby zrealizować wariantowo, proponowana kolejność wydaje się słuszna ze względu na zgodności z rosnącymi potrzebami przedsiębiorstwa i zwiększającą się skalą trudności w opracowaniu kolejnych etapów.

Przy realizacji zamierzeń należy pamiętać o zachowaniu dotychczasowego przyjaznego interfejsu użytkownika oraz zrozumiałej i logicznej nomenklatury, a także o wydajności, która nie powinna utrudniać realizacji podstawowych funkcji systemu. Jest to szczególnie ważne w drugim etapie proponowanej rozbudowy, to jest podczas rozproszenia podstawowych modułów systemu ekspertowego.

Dlatego przy implementacji proponuje się zastosować w celu integracji modułów rozproszonego systemu ekspertowego warstwę pośrednią w postaci brokerów workflow, której zadaniem jest zaawansowana automatyzacja procesu przepływu zadań i informacji, prowadząca do integracji własnych systemów, a także integracji z systemami zewnętrznymi na przykład klientów czy dostawców.



Rys. 3.11. Proponowane etapy rozwoju modelu systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji

Źródło: Opracowanie własne

Podsumowanie i wnioski

Problematyka niniejszej rozprawy doktorskiej pod tytułem „Wspomaganie decyzji w procesach przygotowania produkcji z wykorzystaniem systemu ekspertowego" obejmuje pewien obszar procesu przygotowania produkcji ograniczony do zagadnień doboru technologii wytwarzania oraz szacowania kosztów wytworzenia wyrobu na podstawie określonej technologii. Zadaniem było sprawdzenie możliwości zastosowania systemu ekspertowego w celu wspomagania decyzji we wspomnianych obszarach poprzez przygotowanie modelu systemu i weryfikację jego funkcjonowania.

Potrzeba stworzenia systemu ekspertowego, wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji, wynika z chęci skrócenia i uproszczenia procesu decyzyjnego, tak aby w sytuacji małych i średnich przedsiębiorstw nie było konieczne sięganie po drogie i skomplikowane pakiety programów komputerowych do kompleksowego zarządzania firmą. Elementy procesu przygotowania produkcji, takie jak dobór technologii wytwarzania oraz szacowanie kosztów wytworzenia wyrobów realizowane w sposób tradycyjny poprzez rozpracowanie techniczno-technologiczne, są możliwe do zautomatyzowania z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Prowadzi to do poprawy w zakresie dostępności i szybkości odpowiedzi na zapytanie ofertowe, a co za tym idzie do polepszenia relacji z klientami.

W rozpatrywanym modelu systemu ekspertowego zakres rozstrzygnięć decyzyjnych, występujących podczas doboru technologii wytwarzania obejmuje wskazanie proponowanej ścieżki technologicznej na podstawie dostarczonych przez klienta informacji dotyczących typu wyrobu, rodzaju zastosowanej w nim oprawy oraz ilości kolorów w jakich ma być wydrukowany. Po wprowadzeniu przez użytkownika danych, system od razu sugeruje najbardziej odpowiednią ścieżkę technologiczną dokładnie taką, jaką na podstawie tych danych wskazałby technolog. Przeprowadzone próby na danych historycznych dają 100% zbieżność sugerowanych przez inteligentny system ekspertowy ścieżek technologicznych z wybranymi przez technologa w rzeczywistości. W związku z tym, konkluzja zaproponowana przez system ekspertowy jest tak samo dobra jak ta, opracowana przez technologa, z tym że uzyskana jest w czasie kilkuminutowej konsultacji użytkownika z systemem.

W oparciu o wskazaną ścieżkę technologiczną, a także dodatkowo po określeniu formatu strony dla wyrobu, liczby stron oraz rodzaju papieru drukarskiego na jakim wyrób ma zostać wydrukowany, możliwe jest oszacowanie kosztów wyrobu. Ze względu na bogatą bazę danych historycznych jakimi dysponowało rozpatrywane przedsiębiorstwo, możliwe było zarówno pogrupowanie zrealizowanych wyrobów w grupy o jednakowym lub zbliżonym koszcie wytworzenia w oparciu o podobieństwo technologiczne, a także precyzyjne określenie kosztu bazowego dla wyrobów z każdej z grup. Umożliwiło to szacowanie kosztów nowych wyrobów przez system, bez udziału technologa w oparciu o dane dostarczone przez klienta, w czasie krótszym niż odbywało się to dotychczas w badanej firmie.

Zrealizowana implementacja systemu ekspertowego wspomagania decyzji mimo, że dotyczyła jedynie pewnych aspektów procesu przygotowania produkcji pokazała, że dzięki skróceniu procesu decyzyjnego w obrębie doboru technologii wytwarzania, a także szacowania kosztów wyrobu możliwe jest uproszczenie procedury przygotowania odpowiedzi na zapytanie ofertowe klienta. Odbywa się to z pominięciem długotrwałej procedury rozpracowywania techniczno-technologicznego tak, że klient otrzymuje odpowiedź praktycznie natychmiast po przedstawieniu warunków zapytania ofertowego.

Ze względu na konieczność oceny otrzymanego modelu systemu ekspertowego podstawowym kryterium, które z założenia powinien spełniać jest wydawanie tych samych konkluzji co ekspert na podstawie określonych przesłanek. Zaprezentowany system ekspertowy wspomagający decyzje w procesach przygotowania produkcji realizuje to podstawowe kryterium w odniesieniu do danych historycznych jak i na bieżąco sprawdzanych zapytań ofertowych. Ponieważ w opinii autora ocena systemu ekspertowego na podstawie jednego przedstawionego wyżej kryterium jest zbyt ogólna, zaprojektowano spójny system oceny zarówno konstrukcji systemu ekspertowego jak i jego przydatności we wspomaganiu decyzji, a także mapę możliwości systemu ekspertowego jako platformę oceny porównawczej między różnymi systemami. System oceny wraz z mapą możliwości jest uniwersalnym narzędziem oceny implementacji systemu ekspertowego i może być stosowany niezależnie od dziedziny systemu ekspertowego wspomagającego decyzje.

Ze względu na dotychczasowy brak uniwersalnego sposobu oceny systemu ekspertowego wspomagającego decyzje, zaproponowane rozwiązanie jest indywidualnym wkładem autora w tym zakresie.

Podsumowując należy stwierdzić, że ogólne korzyści, płynące ze stworzenia narzędzia opartego o system ekspertowy wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji są następujące:

- Stworzenie modelu systemu ekspertowego wymaga przeanalizowania mechanizmów podejmowania decyzji i przesłanek, w oparciu o które możliwe jest podanie konkluzji. W wyniku analizy wiedza ukryta staje się wiedzą jawną i dostępną, a mechanizmy podejmowania decyzji przejrzyste i niezależne. Wyodrębnienie przesłanek, które odgrywają rolę w procesie decyzyjnym umożliwia odpowiednie nakierowanie decydenta na kluczowe aspekty danego procesu decyzyjnego.

- Zaimplementowany poprawnie model systemu ekspertowego staje się wygodnym, tanim w eksploatacji i obiektywnym narzędziem wspomagającym decyzje. Umożliwia w krótkim czasie, ograniczonym do kilku minut pracy użytkownika z programem komputerowym, otrzymanie konkluzji w zakresie problemu decyzyjnego wraz z wyjaśnieniem ścieżki rozumowania. W przypadku konieczności szybkiego sprawdzenia kilku, czy kilkunastu wariantów staje się narzędziem o symulacyjnym charakterze dającym konkluzje w wyniku prostej konsultacji użytkownika z systemem.

- Zaprezentowane możliwości przyjętego rozwiązania modelu systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji ograniczone do dwóch elementów, to jest doboru technologii wytarzania oraz szacowania kosztów, można rozwijać zgodnie zapotrzebowaniem wynikającym ze zmian rynku, a także kierunku rozwoju firmy. Proponowane obszary rozwoju to jest zwiększenie funkcjonalności (dzięki gromadzeniu danych statystycznych), dostępności (poprzez zlokalizowanie interfejsu na stronie internetowej) oraz wydajności i odporności na zakłócenia (w wyniku zastosowania rozproszonej architektury).

Na koniec należy podkreślić, że omawiany model systemu ekspertowego został zbudowany dla specyficznych problemów decyzyjnych, wynikających z charakteru produkcji wyrobów drukowanych w drukarni, w sytuacji w której prawie każdy kolejny wyrób można traktować jako nowy, inny niż te które poprzednio powstały. Jednak po niewielkich modyfikacjach można model systemu ekspertowego dostosować do specyfiki innego zakładu produkcyjnego na przykład odlewni, fabryki opakowań czy zakładu stolarskiego, co potwierdza jego przydatność jako narzędzia o uniwersalnym charakterze.

Literatura

[1]. Adamczewski P., *Zintegrowane Systemy Informatyczne*, Mikom, 1999

[2]. Adiga S., Glassey C. R., *Object-oriented simulation to support research in manufacturing systems*. International Journal of Production Research, nr 29 (12), 1991

[3]. Arthur L. Samuel, *Some studies in machine learning using the game of checkers,* IBM Journal of Research and Development, 3(3), July 1959

[4]. Banaszak P., Stańda A., *Zarządzanie w biznesie*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań 1996

[5]. Białko M., *Podstawowe właściwości sieci neuronowych i hybrydowych systemów ekspertowych*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2000

[6]. Biere M., *Business Intelligence for the Enterprise*, Prentice Hall PTR/IBM Press, June 2003

[7]. Bolesta-Kukułka K., *Decyzje menedżerskie w teorii i praktyce zarządzania*, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2000

[8]. Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., *UML przewodnik użytkownika,* WNT 2001

[9]. Borowiecki R., Kwieciński M. (red.), *Zarządzanie zasobami informacji w przedsiębiorstwie. Ku przedsiębiorstwu przyszłości,* WNT, Warszawa 2001

[10]. Chapman W. L., Bahill A. T., Wymore A. W., *Engineering Modeling and Design*, CRC Press; September 1992

[11]. Choi S. H., Chan A. M. M., *A layer-based virtual prototyping system for product development*, Computer in industry, nr 51, 2003

[12]. Cholewa W., Pedrycz W., *Systemy doradcze,* Skrypt Politechniki Śląskiej nr 1447, Gliwice 1987

[13]. Chromiec J., Strzmieczna E., *Sztuczna inteligencja – Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994

[14]. Corkill D. D., *Blackboard Systems*, [w:] Ai Expert, nr 6 (9) z 1991

[15]. Crow K., *Computer-aided process planning*, DRM Associates, Palos Verdes 2002, USA, http://www.npd-solutions.com/capp.html

[16]. Czarnecki K., Eisenecker U. W., *Generative Programming: Methods*, *Tools*, *and Applications*, Chapter 5 *Feature modeling*, Addison-Wesley, Reading, MA., June 2000

[17]. Czermiński J., *Systemy wspomagania decyzji w zarządzaniu przedsiębiorstwem*, Wydawnictwo „Dom Organizatora" TNOiK, Toruń 2002

[18]. Ćwikła G., Knosala R., *Szybkie szacowanie kosztów wytwarzania elementów maszyn* [w:] Komputerowo zintegrowane zarządzanie pod redakcją R. Konosali, WNT 1999

[19]. Darwin Ch. R., *The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favored races in the struggle for life*, J. Murray, London, 1859 r.
[20]. Deming W. E., *Out of the Crisis*, MIT Press, August 2000
[21]. Ding Y., Lan H., Hong J., Wu D., *An integrated manufacturing system for rapid tooling based on rapid prototyping*, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, nr 20, 2004
[22]. Domański C., *Testy statystyczne*, PWE, Warszawa 1990
[23]. Dudek M., Mazur G., Mazur Z., Obrzud J., *Projektowanie produktu*, [w:] Podobiński A. (red.), „Marketingowe czynniki rozwoju sprzedaży wyrobów przemysłowych", Wydawnictwo AGH, Kraków 2004
[24]. Durlik I., *Inżynieria zarządzania, strategia i projektowanie systemów produkcyjnych*, cz. II, Agencja Wydawnicza Placent, Warszawa 1996
[25]. Evans M. A., Campbell R. I., *A comparative evaluation of industrial design models produced using rapid prototyping and workshop-based fabrication techniques*, Rapid Prototyping Journal, Vol. 9, No. 5, 2003
[26]. Farber D. J., Griswold R. E., Polonsky I. P., *SNOBOL, A String Manipulation Language,* Journal of the ACM, Vol. 11, No. 1, January 1964
[27]. Fogel L.J., *Evolutionary programming in perspective: the top-down view*, Computational Intellingece: Imitating Life, J.M. Zurada, R.J. Marks, and C.J. Robinson (red.), IEEE Press, Piscataway, New Jersey, 1994
[28]. Forgy C. L., *OPS5 User's Manual,* Technical Report CMU-CS-81-135, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA 1981
[29]. Goldberg D.E., *Genetic Algorithms in Search*, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. 1989 r.
[30]. Górski J. (red.), *Inżynieria oprogramowania w projekcie informatycznym,* Mikom 2000
[31]. Hang W., Xiong S., Lui B., *Study on CAD/CAE system of die casting*, Journal of Materials Processing Technology, nr 63, 1997
[32]. Hanrahan R. P., *The IDEF Process Modeling Methodology*, Cross Talk, Journal of Defense Software Engineering, June 1995
[33]. Hans B. K., Waters T. F., *Computer Numerical Control*, McGraw-Hill Book Co., 1992
[34]. Harrington J. B., *CLIPS As a Knowledge Based Language*, Third Conference on Artificial Intelligence for Space Applications, NASA CP-2492, November 2-3, 1987
[35]. Hinton G. E., Sejnowski T. J., Ackley D. H.. *Boltzmann machines: Constraint satisfaction networks that learn*. Technical Report CMU-CS-84-119, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA, 1984 r.
[36]. Holland J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, MIT Press, Cambridge 1975 r.
[37]. Ignaczak A., Kostka A., Ojrzeńska-Wójter D., *Organizacja prac badawczych i rozwojowych w przygotowaniu produkcji urządzeń telekomunikacyjnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1995

[38]. Jardzioch A., Banaszak Z., Honczarenko J., *CAP/CAPP/CAM Systems for a CIM Implementation,* Proceedings of the Fifth International Symposium on „Methods and Models in Automation and Robotics". Międzyzdroje 25-29 August 1998, vol. 3

[39]. Jaszkiewicz A., *Inżynieria oprogramowania,* Helion 1997

[40]. Jodełko Z., Marks B., *Dokumentacja techniczna w przedsiębiorstwie budowy maszyn*, WNT, Warszawa 1979

[41]. Johnson R. E., Foote B., *Designing reusable classes,* Journal of Object-Oriented Programming, June/July, 1988

[42]. Kai Ch. Ch., Fai L. K., *Rapid prototyping: principles & applications in manufacturing (2nd ed.)*, World Scientific Publishing Co., March 2003

[43]. Karmańska A., *Koszty w przedsiębiorstwie,* Wydawnictwo Indor, „Poradnik Prawny" nr 18-19/1995

[44]. Kauf S., *Zintegrowane systemy informacyjne jako narzędzie wspomagające integrację marketingu i logistyki,* w: Borowiecki R., Kwieciński M., (red.), *Informacja w zarządzaniu przedsiębiorstwem*. Zakamycze, Kraków 2003

[45]. Keen P. G. W., Scott Morton M., *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1978 Kehler T. P., Clemenson G. D., *KEE - the knowledge engineering environment for industry*, Systems And Software, 3(l), January 1984

[46]. Kiełtyka L. (red.), *Multimedia w zarządzaniu*, WWZPCz, Częstochowa 2002

[47]. Kiełtyka L.(red.), *IT w organizacjach gospodarczych*, Wydawnictwo TNOiK „Dom Organizatora", Toruń 2007

[48]. Kirkerud, B.: *Object-Oriented Programming with SIMULA*, Addison-Wesley, 1989

[49]. Knosala R. i Zespół, *Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa 2002

[50]. Kohonen T., *Self-Organization and Associative Memory,* Springer-Verlag, New York, Berlin, Heidelberg, 1984 r.

[51]. Kotler Ph., *Marketing. Planowanie, wdrażanie analiza i kontrola*, Wydawnictwo Fogra, Warszawa 1999

[52]. Koza, J.R., *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection*, MIT Press, 1992 r.

[53]. Kunwoo L., *Principles of CAD/CAM/CAE Systems,* Reading: Addison-Wesley, 1999

[54]. Martyniak Z.(red.), *Zarządzanie informacją i komunikacją, zagadnienia wybrane w świetle studiów i badań empirycznych,* Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 2000

[55]. McCarthy J., *Recursive functions of symbolic expressions and their computation by machine, Part I.* Communications of the ACM, Vol. 3, No. 4, 1960 r.

[56]. McCulloch, W.S., Pitts, W. *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity, Bulletin of Mathematical Biophysics,* vol. 5, 1943 r.

[57]. Michalewicz Z., *Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs,* Springer-Verlag, Berlin, 1992 r.
[58]. Minsky M., *Steps toward artificial intelligence,* [w:] E.A. Feigembauma i J. Feldmana, *Computers and Thought*, McGraw Hill, New York 1963
[59]. Mitchell T.M.: *Machine Learning*, McGraw-Hill, 1997
[60]. Mize J. H., Bhuskute H. C., Pratt D. B., Kamath M., *Modeling of integrated manufacturing systems using an object-oriented approach.* IIE Transactions, nr 24 (3), 1992
[61]. Mizoguchi F., Ohwada H., Katayama Y., *LOOKS: Knowledge Representation System for Designing Expert Systems in a Logic Programming Framework*, In Proc. of the Int. Conf. on 5th Generation Computer Systems, ICOT, Japan, 1984
[62]. Mulawka J.J, *Systemy ekspertowe*, WNT 1996
[63]. Nanfara F., Uccell T., Murphy D., *The CNC Workbook – An Introductio to Computer Numerical Control*, Addison-Wesley Publishing Co., 1994
[64]. Nasierawski W., *Zarządzanie rozwojem techniki,* Wydawnictwo POLTEXT, Warszawa 1997
[65]. Newell, A., Shaw, J.C., Simon, H.A., Empirical explorations of the logic theory machine. Publikacja w materiałach z Western Joint Computer Conference, 1957
[66]. Newell, A., Shaw, J.C., Simon, H.A., *Report on a general problem-solving program*. Publikacja w materiałach z International Conference on Information Processing, UNESCO, Paris, June 1959
[67]. Penc J., *Decyzje w zarządzaniu*, Wydawnictwo Profesjonalnej Szkoły Biznesu, Kraków 1995
[68]. Pieczyński A., *Reprezentacja wiedzy w diagnostycznym systemie ekspertowym*, Lubuskie Towarzystwo Naukowe w Zielonej Górze, 2003
[69]. Popplestone R., *POP-1: An Online Language*, [in:] Machine Intelligence 2, Dale E., Michie D., Publisher: Oliver and Boyd, Edinburgh, September 1966
[70]. Popplestone R., *The design philosophy of POP-2*, [in:] Machine Intelligence 3, Michie D., Publisher: Edinburgh University Press, 1968
[71]. Power D.J., *A Brief History of Decision Support Systems,* DSS Resources, World Wide Web, http://dss.cba.uni.edu/dss/dsshistory.html, 1999
[72]. Presley A., Liles D. H., *The use of IDEF$_0$ for the design and specification of methodologies,* 4th Industrial Engineering Research Conference, Nashville 1995
[73]. Quillian M. R., *Semantic memory*, Semantic Information Processing, MIT Press, Cambridge 1968 r.
[74]. Quinlan J. R.: *Improved use of continuous attributes in C4.5*. Journal of Artificial Intelligence Research, No. 4, 1996
[75]. Quinlan J. R.: *Data Mining Tools See5 and C5.0*. http://www.rulequest.com/see5-info.html, November 2007

[76]. Radomiński E., *Systemy informatyczne w dynamicznej analizie decyzyjnej*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Wrocław 2001

[77]. Ramus M., Szczepankowski P., *Podejmowanie decyzji w organizacji* [w:] Koźmiński A.K., Piotrowski W. [red.], *Zarządzanie. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995

[78]. Rechenberg I., *Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*, Frommann-Holzboog Verlag, Stuttgart 1973 r.

[79]. Rodwald P., *Metody pozyskiwania wiedzy o wzorcach decyzyjnych dla potrzeb systemów eksperckich,* XVI Krajowe Sympozjum Informatyczne Koła Zainteresowań Cybernetycznych, WAT, Warszawa 2000

[80]. Rosenblatt A., Watson G. F., *Concurrent Engineering,* IEEE Spectrum, July 1991

[81]. Ross D.T., Schoman K.E., *Structured Analysis for Requirements Definition*, IEEE Transactions on Software Engineering, Vol. 3, No. 1, 1977

[82]. Rosenblatt F., *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*, Cornell Aeronautical Laboratory, Psychological Review, vol. 65, no.6

[83]. Rutka R., *Organizacja przedsiębiorstw. Przedmiot projektowania,* Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 1996

[84]. Russell B., *Principles of Mathematics,* Cambridge University Press, Cambridge 1903 r.

[85]. Schwefel H.P., *Numerische Optimierung von Computer-Modellen mittels der Evolutionsstrategie,* Interdisciplinary Systems Research, vol. 26, Birkhauser Verlag, Basel 1977 r.

[86]. Simiński R., Wakulicz-Deja A., *Metody programowej realizacji systemów hybrydowych w środowisku PC-Schell*, [w:] Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, tom 2, Wrocław 1997

[87]. SofTech Inc., *An Introduction to SADT*, SofTech Document No. 9022-78R, Waltham, Massachusetts, November 1976

[88]. SofTech, Inc., *Integrated Computer-Aided Manufacturing (ICAM)*, Report: Function Modeling Manual (IDEFO), contract no. F33612-78-C-5158, 1981

[89]. Sosnowska H. (red.), *Grupowe podejmowanie decyzji, elementy teorii, przykłady zastosowań,* Wydawnictwo Naukowe „Scholar", Warszawa 1999

[90]. Stair R., Reynolds G., *Principles of Information Systems, 7*th edition, Course Technology 2005

[91]. Steele G. L. Jr., *Common Lisp: the Language*, Digital Press, Maynard MA, 1984

[92]. Stoner J. A. F., Wankel Ch., *Kierowanie*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1992

[93]. Sussman G. J., Steele G. L. Jr., *SCHEME: an Interpreter for Extended Lambda Calculus*. Technical Report 349, MIT AI Lab, December 1975

[94]. Szyjewski Z., *Zarządzanie wiedzą korporacyjną*, [w:] www.placent.pl, Placent, 2002
[95]. Touretzky D.S., *COMMON LISP: A Gentle Introduction to Symbolic Computation*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1990
[96]. Turing A., *Computing machinery and intelligence* [w:] *Mind* vol. 59, no. 236, Oxford University Press, 1950 r.
[97]. Turing A., *On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*, [w:] *Proceedings of the London Mathematical Society*, London Mathematical Society, Series 2, Vol.42, 1936-37 r.
[98]. Unold J., *Systemy informacyjne marketingu*, Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2001
[99]. Vajpayee, S. K., *Principles of Computer-Integrated Manufacturing,* Prentice Hall, February 1998
[100]. White S. A., *Introduction to BPMN* , IBM Corporation 2004,
[101]. Whitehead A. N., and Russell B., *Principia Mathematica*, 3 tomy, Cambridge University Press, Cambridge 1910 r., 1912 r., 1913 r.
[102]. Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, John Wiley & Sons, Inc, New York 1948 r.
[103]. Yue S., Wang G., Yin F., Wang Y., Yang J., *Application of an integrated CAD/CAE/CAM system for die casting dies*, Journal of Materials Processing Technology, nr 139, 20 August 2000
[104]. Zeid I., *CAD/CAM Theory and Practice,* McGraw-Hill, New York 1991

Spis rysunków

Rys. 1.4. Etapy powstawania nowego produktu, s.8
Rys. 1.5. Struktura procesów przygotowania produkcji s.10
Rys. 1.6. Przykładowa karta technologiczna, s. 12
Rys. 1.4. Procesy w systemie wytwarzania, s16
Rys. 1.5. Struktura organizacji liniowo-sztabowej, s.19
Rys. 1.6. Dwuwymiarowa struktura organizacji macierzowej wraz z obszarami kompetencji, s. 20
Rys. 1.7. Przebieg procesu decyzyjnego, s. 32
Rys. 1.8. Obszar stosowania systemów wspomagania decyzji, s. 34
Rys. 1.9. Narzędzia systemów informacji zarządczej, s. 35
Rys. 1.10. Przebieg procesu przygotowania produkcji i występujące w nim problemy decyzyjne, s. 38
Rys. 1.11. Realizacja zadań w inżynierii klasycznej i współbieżnej, s. 39
Rys. 1.12. Model współbieżności strumieni działań w przygotowaniu nowego produktu, s. 40
Rys. 1.13. Wykres ilości zmian projektowych w inżynierii klasycznej i współbieżnej na przykładzie amerykańskiego i japońskiego przemysłu samochodowego, s. 41
Rys. 1.14. Elementy komputerowo zintegrowanego wytwarzania (CIM), s. 45
Rys. 1.15. Kostki ICOM, reprezentujące procesy i dane w diagramach SADT, s. 49
Rys. 1.16. Kostka ICOM, reprezentująca procesy w diagramie IDEF$_{0,}$, s. 50
Rys. 1.17. Hierarchiczna struktura modelu IDEF$_0$ i schemat dekompozycji diagramów, s.51
Rys. 1.18. Schemat powiązań systemów informacyjnych, s. 57
Rys. 1.19. Topologia sztucznej sieci neuronowej jednokierunkowej, wielowarstwowej, s. 71
Rys. 1.20. Schemat budowy systemu ekspertowego, s. 89
Rys. 1.21. Schemat zapisu regułowego w klasycznych systemach ekspertowych, s. 92
Rys. 1.22. Fragment drzewa decyzyjnego modelu klasycznego, s. 98
Rys. 1.23. Fragment struktury bazy wiedzy systemu tablicowego, s. 99
Rys. 1.24. Schemat doboru technologii wytwarzania wspomaganego systemem ekspertowym, s. 104
Rys. 2.1. Zapis wiedzy w oparciu o tzw. Ramy, s. 121
Rys. 2.2. Etapy procesu produkcyjnego w drukarni, s. 135
Rys. 2.3. Schemat tworzenia reguł dla systemu PC-Schell, s. 141
Rys. 2.4. Fragment pliku wejściowego dla modułu DeTreex, s. 147
Rys. 2.5. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex, s. 149

Rys. 2.6. Ogólny schemat działania algorytmu ID3, s. 150
Rys. 2.7. Zawartość pliku z atrybutami i klasami (Plik printing.names), s. 153
Rys. 2.8. Zawartość pliku z danymi dla programu C4.5 (Plik printing.data), s. 153
Rys. 2.9. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik painting.out_gain), fragment obejmujący wybór pierwszego węzła, s. 154
Rys. 2.10. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out_gain), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu oprawa=bloki-klejone, s. 155
Rys. 2.11. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący wybór pierwszego węzła, s. 156
Rys. 2.12. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=ksiazka, s. 157
Rys. 2.13. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik painting.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu typ_druku=ksiazka, s. 158
Rys. 2.14. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła typ_druku=ksiazka, s. 159
Rys. 2.15. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=czasopismo, s. 160
Rys. 2.16. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik painting.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu typ_druku=czasopismo, s. 161
Rys. 2.17. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła typ_druku=czasopismo, s. 162
Rys. 2.18. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=druk_numer, s. 163
Rys. 2.19. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu typ_druku=druk_numer, s. 164
Rys. 2.20. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła typ_druku=druk_numer, s. 165
Rys. 2.21. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący węzeł typ_druku=akcyden, s. 166
Rys. 2.22. Zawartość pliku wyjściowego z programu C4.5 (Plik printing.out), fragment obejmujący drzewo decyzyjne dla atrybutu typ_druku=akcydens, s. 167
Rys. 2.23. Fragment drzewa decyzyjnego wygenerowanego przez modułu DeTreex dla węzła typ_druku=akcydens, s. 168
Rys. 2.24. Plik wyjściowy z programu See5 z wygenerowanym drzewem decyzyjnym, s. 170-171

Rys. 2.25. Schemat tworzenia reguł dla podsystemu szacowania cen w PC-Schell, s. 174
Rys. 2.26. Źródło wiedzy podsystemu szacowania cen dla PC-Schell w postaci arkusza Excel, s.175
Rys. 2.27. Fragment kodu w języku Sphinx, stosowanym w środowisku PC-Schell realizujący odczyt danych z arkusza kalkulacyjnego, s. 176
Rys. 2.28. Fragment kodu w języku Sphinx, stosowanym w środowisku PC-Schell realizujący procedurę zamiany wartości dla przelicznika formatu arkusza, s. 177
Rys. 3.1. Schematyczna ocena konstrukcji modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji w oparciu o wartość punktową KO, s. 184
Rys. 3.2. Schematyczna ocena przydatności modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji w oparciu o wartość punktową PO, s. 187
Rys. 3.3. Mapa możliwości systemu ekspertowego, s. 188
Rys. 3.4. Podstawowy zestaw elementów standardu BPMN, s. 192
Rys. 3.5. Zdarzenia i bramki standardu BPMN, s. 193
Rys. 3.6. Tor przepływu w standardzie BPMN, s. 193
Rys. 3.7. Schemat BPMN obecnego procesu generowania odpowiedzi dla klienta, s. 194
Rys. 3.8. Schemat BPMN procesu generowania odpowiedzi dla klienta z wykorzystaniem systemu ekspertowego, s. 195
Rys. 3.9. Schemat systemu ekspertowego z interfejsem zlokalizowanym na stronie internetowej, s. 198
Rys. 3.10. Tablicowa i rozproszona struktura systemów ekspertowych, s. 204
Rys. 3.11. Proponowane etapy rozwoju modelu systemu ekspertowego wspomagającego decyzje w procesach przygotowania produkcji, s. 206

Spis tablic

Tabela 2.1. Ważniejsze języki programowania używane w budowie systemów ekspertowych, s. 125-128
Tabela 2.2. Ważniejsze krajowe systemy szkieletowe, s. 130-132
Tabela 2.4. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji książek, s. 142
Tabela 2.5. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji czasopism, s. 143
Tabela 2.6. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji druków numerowanych, s. 144
Tabela 2.7. Tabela decyzyjna dla wyboru technologii produkcji druków akcydensowych, s. 145
Tabela 2.8. Zestawienie technologii produkcji książek, s. 147
Tabela 2.9. Zestawienie technologii produkcji czasopism, s. 148
Tabela 2.10. Zestawienie technologii produkcji druków numerowanych, s. 148
Tabela 2.11. Zestawienie technologii produkcji druków akcydensowych, s. 148-149
Tabela 2.12. Formaty arkuszy zgodne z ISO 216, s. 178
Tabela 2.13. Współczynniki kosztów dla poszczególnych rodzajów, s. 178
Tabela 3.1. Kryteria oceny konstrukcji modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji, s. 182-183
Tabela 3.2. Kryteria oceny przydatności modelu systemu ekspertowego wspomagania decyzji, s. 185-186
Tabela 3.3. Wartości parametrów w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych, s. 196
Tabela 3.4. Wyniki przeprowadzonej symulacji, s. 196