

ZYGMUNT MAZUR
DARIUSZ SALA

Koncepcja systemu ekspertowego szacowania kosztów wytwarzania

Wstęp

We współczesnej gospodarce rynkowej, ukierunkowanej na zaspokajanie potrzeb klientów, szybka i rzetelna odpowiedź na zapytania ofertowe odgrywa szczególną rolę. Jest to ważne zagadnienie, ponieważ silna konkurencja w każdej z branż nie daje producentowi zbyt dużo czasu na ocenę własnych kosztów produkcji i przygotowanie kalkulacji dla każdego nowego wyrobu. Dotychczasowe metody zabierają zbyt dużo czasu, gdyż wymagają zaprojektowania całego procesu technologicznego, co jest kosztowne i wiąże się z szeregiem żmudnych i czasochłonnych obliczeń. W sytuacji, gdy klient znajdzie inną, korzystniejszą dla siebie ofertę, poczynione wydatki na opracowanie oferty pozostaną stratą przedsiębiorstwa. Dlatego istnieje konieczność opracowania takiej metody oceny kosztów wytwarzania, która stworzy możliwość udzielenia szybkiej odpowiedzi na zapytanie ofertowe przy minimalizacji kosztów jej sporządzenia.

1. Sformułowanie problemu

Pomocne w szacowaniu kosztów wytwarzania może być udowodnione spostrzeżenie o zależności między podobieństwem konstrukcyjno-technologicznym a kosztami wytwarzania [3]. Każdy nowy wyrób, którego koszty produkcji należy oszacować, porównuje się z grupami wytwarzanych w przeszłości wyrobów o znanych kosztach wytworzenia. Porównania dokonuje się w oparciu o reprezentatywny zbiór cech konstrukcyjno-technologicznych. Wyłoniona grupa wyrobów podobnych będzie miała 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 musi dysponować możliwie szerokim zbiorem danych historycznych dotyczących procesów technologicznych produkowanych wcześniej wyrobów wraz z dokładną kalkulacją ich wytworzenia. Po drugie, należy bardzo

starannie wybrać istotne cechy konstrukcyjno-technologiczne, które pozwolą na porównywanie wyrobów.

Opisana pokrótce metoda szacowania kosztów wytworzenia, w tym ujęciu, sprowadza się do zagadnień klasyfikacji i rozpoznawania. Są to zagadnienia, w których egzamin zdają tzw. systemy ekspertowe (*expert systems* — SE) [1], [2], [5].

Systemy ekspertowe, będące jednym z obszarów sztucznej inteligencji (*artificial intelligence* — AI) [2], [5], to zaawansowane programy komputerowe mające naśladować logikę rozumowania i sposób podejmowania decyzji przez człowieka, eksperta w konkretnej, wąskiej dziedzinie.

Zaletą systemów ekspertowych jest możliwość szybkiej symulacji różnych przebiegów procesów decyzyjnych dla zmieniających się warunków początkowych. Co ważniejsze, rozwiązania problemów proponowane przez dobrze skonstruowane systemy ekspertowe, dysponujące wiedzą wcześniej zgromadzoną przez ich twórców, są jakościowo porównywalne z rozstrzygnięciami przygotowanymi przez ludzkich ekspertów na podstawie ich własnej wiedzy i doświadczenia.

Prawie każdy system ekspertowy składa się z czterech podstawowych części [5]. Są nimi: baza wiedzy, mechanizm wnioskujący, interfejs użytkownika, a także moduł objaśniający.

Baza wiedzy (knowledge base) jest to zbiór informacji zawierający wiedzę i doświadczenie specjalistów oraz ekspertów z danej dziedziny.

Mechanizm wnioskujący (inference engine) to część systemu kierująca rozwiązywaniem problemu. Tak jak umysł ludzki, umożliwia wyciąganie wniosków i przetwarzanie informacji oraz dochodzenie do logicznie uzasadnionych decyzji.

Interfejs użytkownika (users interface) jest to część systemu zajmująca się komunikacją ze światem zewnętrznym, ma za zadanie utrzymywać interakcję pomiędzy użytkownikiem a systemem ekspertowym. Częścią interfejsu użytkownika jest moduł objaśniający, który dostarcza uzasadnienia dla rozwiązane go problemu przyjętego przez system ekspertowy, tzn. wyjaśnia drogę swojego rozumowania oraz uzasadnia otrzymaną konkluzję.

Zadaniem systemu ekspertowego w rozpatrywanym zagadnieniu będzie:

— Zdobycie informacji o istotnych cechach nowego wyrobu, potrzebnych do porównania z wyrobami istniejącymi już w bazie wiedzy systemu. Ten etap odbywałby się podczas sesji pytań z udziałem obsługującego system pracownika poprzez interfejs użytkownika.

— Porównanie cech nowego wyrobu z cechami wyrobów już istniejących w bazie wiedzy systemu ekspertowego, znalezienie podobnych i wyciągnięcie wniosków co do ich stopnia podobieństwa. Ten etap odbywałby się w oparciu o moduł wnioskujący z udziałem interfejsu użytkownika.

— Podanie szacunkowych kosztów wytworzenia nowego wyrobu w oparciu o określony stopień podobieństwa i koszty wytwarzania wyrobów odnalezionych w bazie wiedzy systemu.

2. Zasady budowy systemu ekspertowego

System ekspertowy do szacowania kosztów wyrobów można stworzyć w oparciu o któryś z języków programowania służących temu celowi (np. PROLOG, LIPS) lub skorzystać z już istniejących szkieletowych systemów ekspertowych (*shell expert system*) z pustą bazą wiedzy (*knowledge base*) i wbudowanymi mechanizmami wnioskowania (np. Nexpert Object firmy Neuron Data z USA lub PC-Shell firmy AI-Tech z Polski) [4].

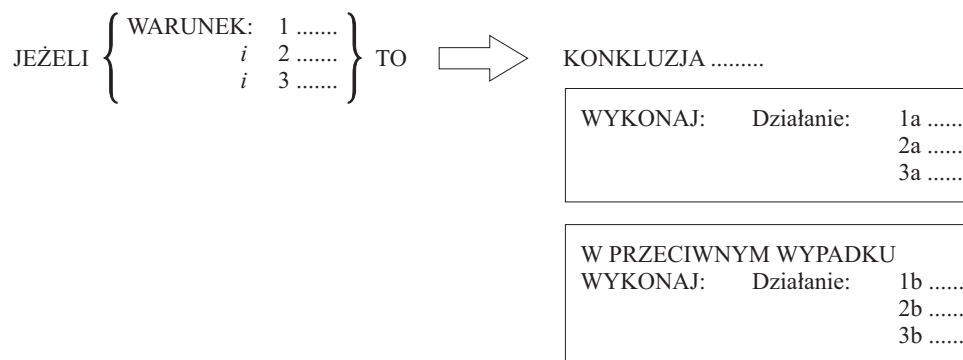
Opracowanie systemu ekspertowego przy zastosowaniu pierwszego podejścia jest zadaniem pracochłonnym i wymagającym zatrudnienia programistów o wysokich kwalifikacjach. Jest to zadanie kosztowne, ale elastyczne.

Drugie rozwiązanie wydaje się prostsze, gdyż sprowadza się do zgromadzenia odpowiedniej liczby faktów (dotyczących w naszym przypadku kosztów wytwarzania wyrobów oraz ich podobieństwa konstrukcyjno-technologicznego) i implementacji w pustej bazie wiedzy systemu. Nie trzeba tworzyć reguł rozumowania i interfejsu użytkownika, gdyż jako takie są już wbudowane w system szkieletowy.

Kolejnym etapem jest rozstrzygnięcie sposobu implementacji zgromadzonych informacji. Najczęściej stosowaną formą reprezentacji wiedzy systemu ekspertowego jest reprezentacja regułowa (deklaratywna). Zapis reguł ma następujący układ:

Wykres 1

Schemat zapisu regułowego w systemach ekspertowych



Źródło: opracowanie własne.

W przypadku 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.

3. Etapy budowy przykładowego systemu ekspertowego

Etapy tworzenia systemu są następujące:

1. Akwizycja, czyli pozyskiwanie wiedzy

Wiedzę niezbędną do budowy systemu ekspertowego szacowania kosztów wytwarzania pozyskano w zakładzie produkującym wyroby w procesie przeróbki plastycznej (tłoczenie).

We współpracy z głównym technologiem określono cztery cechy wyrobów, które decydują o przebiegu procesu technologicznego, a co za tym idzie o koszcie jego wytworzenia. Cechy te to:

- rodzaj wyrobu,
- rodzaj wykończenia,
- średnica ostateczna wyrobu w [cm],
- stosunek średnicy ostatecznej do głębokości.

2. Budowa Tabeli Decyzyjnej

Jej utworzenie poprzedzić musi określenie grup wyrobów podobnych technologicznie. Dokonać tego można na bazie analizy przepływów produkcji (*production flow analysis* — PFA), grupując wyroby według zgodności lub podobieństwa operacji technologicznych [6].

Każda z wydzielonych grup zawiera wyroby, które mają podobny lub identyczny przebieg procesu produkcyjnego. Każdej grupie przydziela się odrębny symbol zastosowanej technologii wytwarzania.

Fragment Tabeli Decyzyjnej przedstawia tabela 1. W kolumnach Tabeli znajdują się wektory klas — możliwe rodzaje różnych przebiegów procesu produkcyjnego. Symbol „X” na przecięciu się danej kolumny klas z wierszami cech informuje o istnieniu między nimi zależności.

Tabela Decyzyjna powinna spełniać następujące warunki:

- zbiór wszystkich wartości każdej z cech jest zbiorem skończonym o małej liczebności,
- poszczególne wartości tej samej cechy wykluczają się wzajemnie, a każda z konfiguracji atrybutów w jednoznaczny sposób określa klasę, do której należy obiekt.

3. Przekształcenie Tabeli Decyzyjnej w Drzewo Decyzyjne

Realizuje się to w:

1) ustaleniu wartości cechy (wiersza w Tabeli Decyzyjnej), która najsilniej różnicuje zbiór obiektów — przynosi najwięcej informacji o zróżnicowaniu zbioru obiektów w oparciu o miarę ΔI (algorytm indukcyjny ID3) [5],

2) podziale Tabeli na dwie podtabele w oparciu o kryterium wybranej w poprzednim kroku cechy,

3) obliczeniu wartości $\Delta I'$ dla każdej podtabeli,

4) podziale podtabeli na dwa kolejne podzbiory zgodnie z kryterium podanym w drugim kroku,

5) powtarzaniu kroków od dwa do cztery, aż do wygenerowania pełnego Drzewa Decyzyjnego.

Tabela 1

Fragment Tabeli Decyzyjnej

Lp.	Cecha	Wartość	Rodzaj zastosowanej technologii wytwarzania				
1	Rodzaj wyrobu	A	X	X	X		
2		B					
3		C					
4		D				X	
5		E					
6	Rodzaj wykonania	Z wykończeniem	X	X			
7		Standardowe			X	X	
8	Stosunek średnicy do głębokości	1 : 3	X		X		
9		1 : 4		X			
10		1 : 5					
11		...					
12		1 : 10					X
13	Średnica ostateczna wyrobu w [cm]	7–10	X		X		
14		11–16		X			
15		17–22					
16		23–28					
17		29–40					X
Symbol zastosowanej technologii wytwarzania			1	1	2	17	...

Źródło: opracowanie własne.

Wartość ΔI określa przyrost informacji o obiektach, jaki uzyskujemy dzięki zapytaniu o wartość cechy j .

$$\Delta I_j = I(D) - E_j \quad (1)$$

gdzie:

j — indeks cechy (a właściwie jednej z jej wartości).

$I(D)$, tj. wartość oczekiwana ilości informacji o przynależności obiektów do poszczególnych klas, jaką zawiera cała tabela, obliczamy ze wzoru:

$$I(D) = - \sum_{i=1}^k \left[\frac{n_i}{\sum_{l=1}^k n_l} \cdot \log_2 \left(\frac{n_i}{\sum_{l=1}^k n_l} \right) \right] \quad (2)$$

gdzie:

k — liczba klas,

n_i — liczba wszystkich obiektów należących do klasy i .

E_j , tj. wartość oczekiwana ilości informacji, jaką łącznie uzyskujemy w wyniku zastosowania cechy j , obliczamy ze wzoru:

$$E_j = \frac{\sum_{i=1}^k n_i^j}{\sum_{i=1}^k n_i} \cdot I_j^{(1)} + \frac{\sum_{i=1}^k (n_i - n_i^j)}{\sum_{i=1}^k n_i} \cdot I_j^{(0)} \quad (3)$$

gdzie:

n_i^j — liczba wszystkich obiektów posiadających cechę j i należących do klasy i .

$I_j^{(1)}$, tj. wartość oczekiwana ilości informacji, jaką uzyskujemy z podzbioru obiektów wygenerowanego przez pozytywną odpowiedź na pytanie o cechę j , obliczamy ze wzoru:

$$I_j^{(1)} = - \sum_{i=1}^k \left[\frac{n_i^j}{\sum_{l=1}^k n_l^j} \cdot \log_2 \left(\frac{n_i^j}{\sum_{l=1}^k n_l^j} \right) \right] \quad (4)$$

$I_j^{(0)}$, tj. wartość oczekiwana ilości informacji, jaką uzyskujemy z podzbioru obiektów wygenerowanego przez negatywną odpowiedź na pytanie o cechę j , obliczamy ze wzoru:

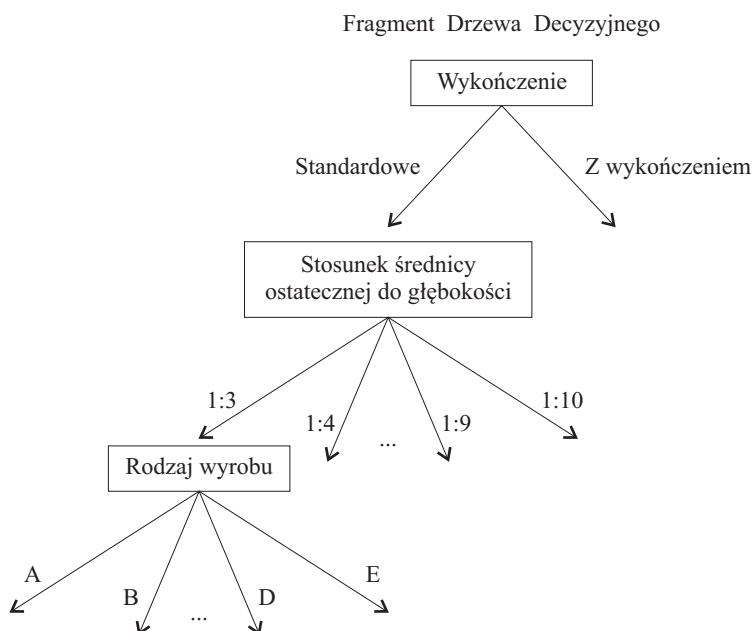
$$I_j^{(0)} = - \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{(n_i - n_i^j)}{\sum_{l=1}^k (n_l - n_l^j)} \cdot \log_2 \left[\frac{(n_i - n_i^j)}{\sum_{l=1}^k (n_l - n_l^j)} \right] \right\} \quad (5)$$

W oparciu o miarę ΔI określono, że najbardziej różnicującą wyroby pod względem technologicznym cechą jest sposób wykonania (z wykończeniem lub standardowy). Jest to punkt wyjścia w tworzeniu Drzewa Decyzyjnego, którego fragment zawiera wykres 2.

4. Tworzenie zapisu regułowego

Z Drzewa Decyzyjnego łatwo już jest przejść na zapis regułowy akceptowany przez szkieletowy system ekspertowy (np. *Jeżeli* wykonanie = z wykończeniem *i* stosunek średnicy ostatecznej do głębokości = 1 : 3 *i*... *i*... *to* technologia = nr 1).

Wykres 2



Źródło: opracowanie własne.

5. Oszacowanie kosztów wytworzenia

Po określeniu technologii wykonania system ekspertowy musi odnaleźć (odwołując się np. do zewnętrznej bazy danych) wyroby, które zostały już wyprodukowane w oparciu o wybraną technologię. Najprostszym sposobem określenia kosztu wytworzenia nowego wyrobu jest obliczenie średniej arytmetycznej z kosztów wytworzenia już wyprodukowanych wyrobów z tej samej grupy podobieństwa technologicznego.

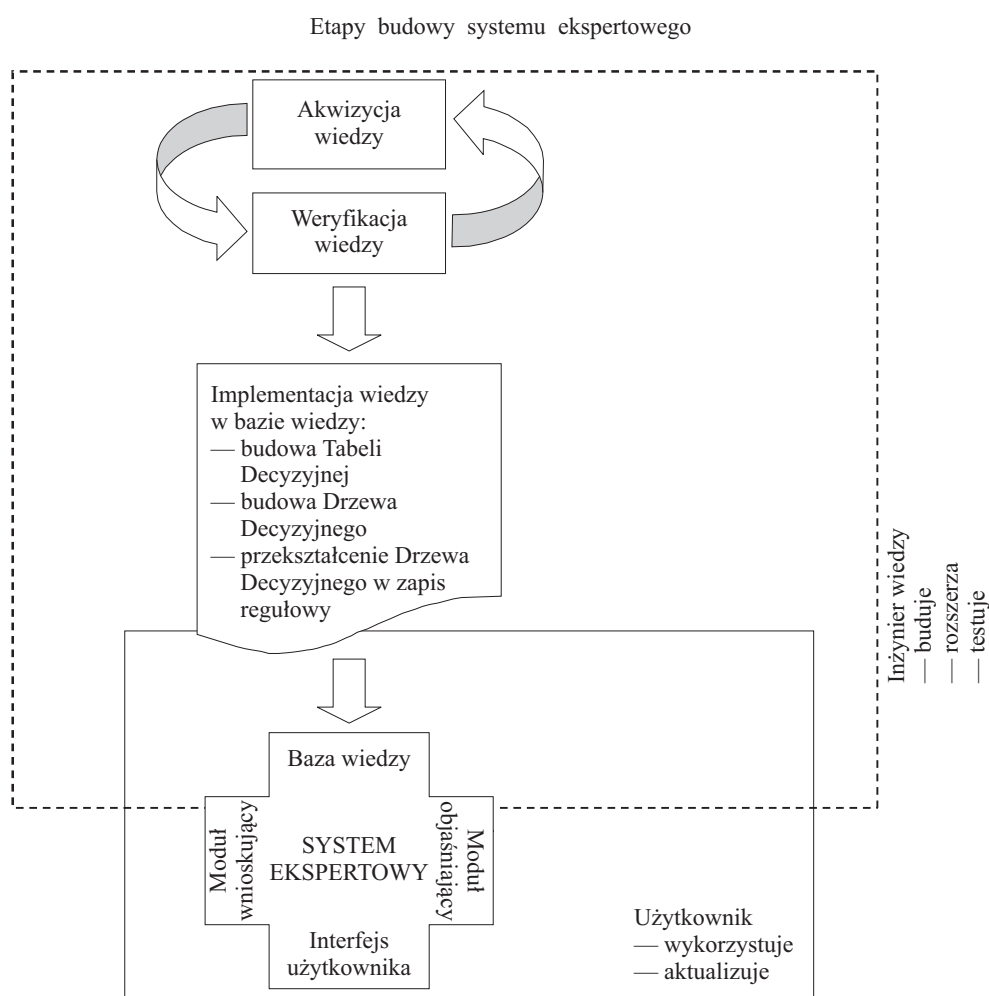
Jednak można pokusić się o skomplikowanie tego elementu funkcjonowania systemu, np. o zespół wag, określających koszt poszczególnych operacji wchodzących w skład jednej grupy podobieństwa technologicznego. Przeważnie jedynie część operacji jest wspólna dla wszystkich wyrobów z danej grupy wyrobów podobnych pod względem technologicznym, pozostałe występują tylko na kilku wyrobach, czasem tylko na jednym. Dlatego system wag kosztowych uwiarygodniłby średni koszt wytworzenia wyrobu pochodzącego z danej grupy.

Samo oszacowanie kosztów wytwarzania wyrobów odbywa się w wyniku sesji pytań i odpowiedzi pomiędzy SE a obsługującym go pracownikiem, zgodnie z rozkładem gałęzi Drzewa Decyzyjnego. System uruchamia moduł wnioskujący, który na podstawie udzielonych odpowiedzi, a także zgromadzonej w bazie wiedzy informacji, oraz na podstawie własnych reguł rozumowania określa, do jakiej grupy podobieństwa technologicznego zaliczył nowy wyrób. Następnie odszukuje

w zewnętrznej bazie danych wyroby z tej samej grupy podobieństwa technologicznego i określa średnią kosztów ich wytworzenia (średnia arytmetyczna bądź w przypadku, gdy jest to konieczne, średnia z uwzględnieniem wag dla poszczególnych operacji). Obliczona średnia jest poszukiwaną szacunkową wartością kosztu wytworzenia nowego wyrobu.

Etapy budowy systemu ekspertowego w schematyczny sposób przedstawione są na wykresie 3.

Wykres 3



Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

Należy stwierdzić, że tak przygotowany system ekspertowy szacowania kosztów wytwarzania nowego wyrobu na podstawie określenia podobieństwa do wyrobów już znanych pozwala w wyniku sesji pytań i odpowiedzi dać w krótkim czasie rzetelną odpowiedź co do kosztów jego wytworzenia. Oczywiście nic w pełni nie zastąpi wiedzy i doświadczenia, a niekiedy intuicji ludzkiego eksperta, ale system taki mógłby być wstępnym, tanim i szybkim narzędziem weryfikacji co do opłacalności produkcji nowego wyrobu oraz wielkości kosztów wytworzenia.

Bibliografia

- [1] Bubnicki Z., *Wstęp do systemów ekspertowych*, PWN, Warszawa 1990.
- [2] Cholewa W., Pedrycz W., *Systemy doradcze*, Politechnika Śląska, skrypt nr 1447, Gliwice 1987.
- [3] Ćwikła G., Knosala R., *Szybkie szacowanie kosztów wytwarzania elementów maszyn* [w:] *Komputerowo zintegrowane zarządzanie*, pod red. R. Knosali, WNT, Warszawa 1999.
- [4] Klonecki P., Surma J., *Systemy ekspertowe*, „Chip” 9/94, Wrocław, s. 73—77.
- [5] Mulawka J.J., *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa 1996.
- [6] *Nowoczesne metody zarządzania produkcją*, Wydawnictwo Wydziału Zarządzania AGH, Kraków 1996.