

Dorota WIĘCEK  
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej  
Wydział Budowy Maszyn i Informatyki  
Katedra Inżynierii Produkcji

## SZACOWANIE KOSZTÓW PROJEKTOWANYCH WYROBÓW

**Streszczenie.** Obecnie w przedsiębiorstwach produkcyjnych rozpoczęcie procesu projektowania i przetwarzania nowego produktu jest niemożliwe bez dokładnego oszacowania całkowitych kosztów jego produkcji. Opis cech konstrukcyjnych, wytwarzania i organizacyjnych projektowanych elementów dokonywany w trakcie zapisu konstrukcji wraz z metodą kalkulacji kosztów opartą na rachunku kosztów działań pozwalają na określenie zbiorów wartości czynników kosztotwórczych, które są podstawą szacowania kosztów projektowanych elementów.

## ESTIMATING COSTS OF DESIGNED PRODUCTS

**Summary.** Nowadays it is impossible for a manufacturer to start the process of designing and manufacturing a new product without careful estimation of its total production costs. To this end, a method was proposed of describing constructional, technological and organizational features of elements during the process of their designing and in connection with assigning costs to activities, mathematical models were constructed for identifying cost drivers, which are key to evaluating the costs of elements designed.

### 1. Wprowadzenie

Występujące na rynku produkty tworzące konkurencję dla innych, alternatywnych produktów muszą cechować się odpowiednią ceną, ukształtowaną przez klientów oraz konkurencję, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganego poziomu jakości. Jednakże producent przy ustalaniu cen wyrobów powinien kierować się poniesionymi kosztami na ich wyprodukowanie. Ta sytuacja stwarza jedynie możliwość odpowiedniego manipulowania kosztami w celu utrzymania się na rynku. Należy zaznaczyć, że różni producenci mają dostęp

do tych samych środków produkcji (maszyn, urządzeń, środków transportu) oraz do tych samych materiałów produkcyjnych. W wartości produktów coraz mniejszy udział mają koszty materiałów i koszty wykonania, natomiast w kosztach produkcji zwiększa się udział wydatków pośrednich, dotyczących m.in. działań związanych z pozyskiwaniem i przetwarzaniem informacji o ich projektowaniu, wykonywaniu oraz sprzedaży. Wszelkie niedoskonałości w postaci strat, a zarazem duże możliwości działania mogą dotyczyć niedokładnego oszacowania kosztów na etapie projektowania produktu, nieefektywnej organizacji produkcji, niewłaściwego zaspokajania potrzeb klienta w porównaniu z konkurencją oraz nietrafnego doboru systemu rachunku kosztów do potrzeb przedsiębiorstwa. Optymalizacja zasobów w przedsiębiorstwie, oprócz wysokiej jakości wyrobów i nowoczesnych technologii ich wytwarzania, stała się kluczowym czynnikiem decydującym o zdobywaniu przewagi konkurencyjnej na rynku<sup>1</sup>.

## 2. Wpływ etapów cyklu produkcyjnego na koszty wyrobu

W przedsiębiorstwach produkcyjnych proces projektowania i przetwarzania nowych produktów powinien być poprzedzony dokładnym oszacowaniem całkowitych kosztów produkcji. Jak tylko jest to możliwe, ważne jest szybkie i w miarę dokładne oszacowanie, kosztów w celu uniknięcia zbyt dużych nakładów podczas uruchomienia produkcji tych wyrobów. W trakcie procesu projektowania poniesienie 10-15% całkowitych kosztów determinuje poniesienie 70-80% kosztów następnych procesów – rys. 1<sup>2</sup>.

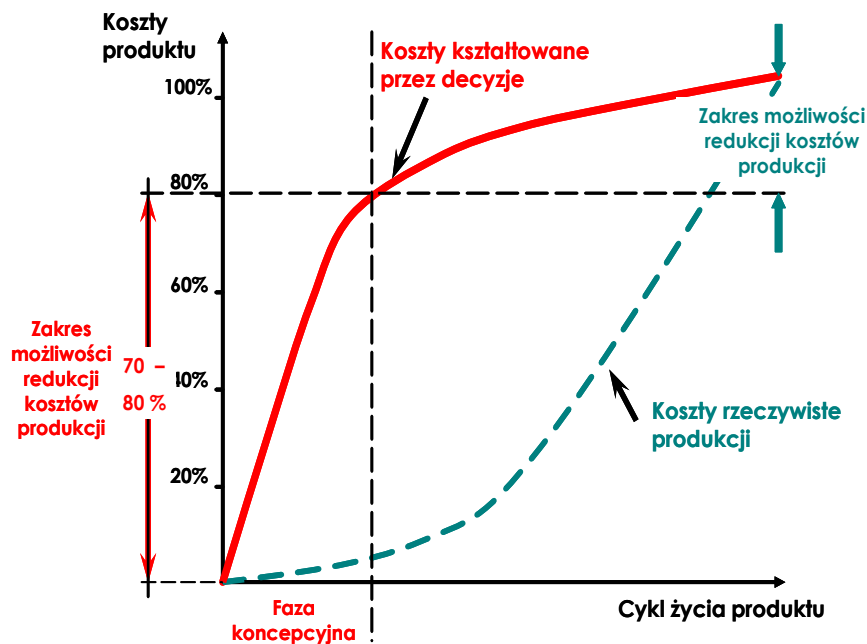
W fazie rozwoju produktu, w której powstają koncepcja i struktura funkcjonalna wyrobu oraz dobierane są materiały, technologia, struktura i parametry procesów wytwarzania, to projektanci mają decydujący wpływ na całkowitą kosztocłonność. W procesie projektowania wyrobu im więcej wiemy o nim, tym mniejszy udział mają nieustalone koszty w całkowitych kosztach produktu. Maleją szanse zmniejszenia kosztu produktu w sytuacji bardziej zaawansowanego procesu przetwarzania wyrobu z powodu angażowania dużych nakładów na zmianę procesu. Na rys. 2 przedstawiono procentowy rozkład kosztów kolejnych faz powstawania, produkcji i sprzedaży wyrobu z podziałem na koszty poniesione, czyli średnie koszty realne ponoszone w związku z produkcją wyrobu, oraz koszty ustalone, tzw. średnie koszty planowane na etapie projektowania wyrobu<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Brinke E.: Costing support and cost control in manufacturing. PhD. Thesis, University of Twente, Enschede 2002; Novák-Marciničín J., Kuric I., Legutko S., Nováková-Marcinčinová L.: Computer aided technical preparation of production. University of Žilina, Žilina 2011.

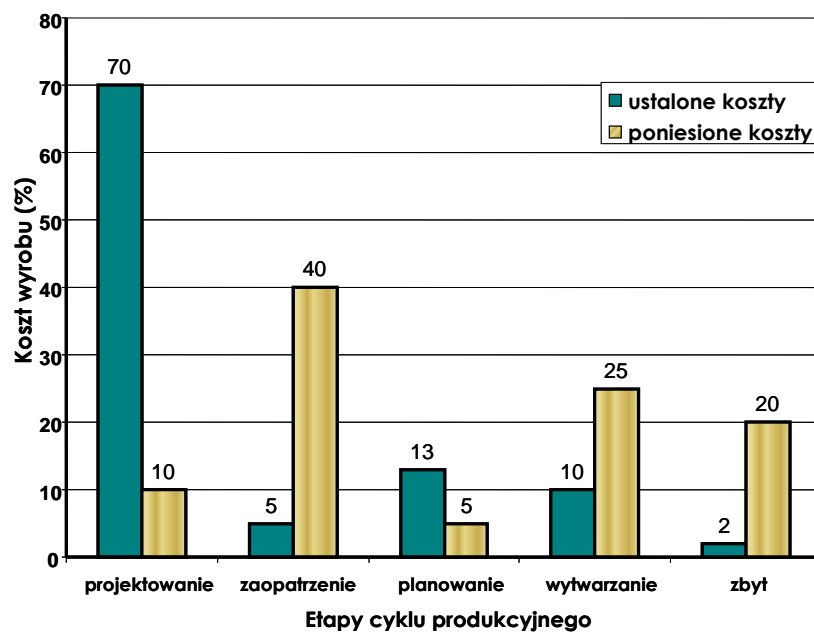
<sup>2</sup> Farineau T., Rabenasolo B., Castelain J.M., Meyer Y., Duverlie P.: Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase. Advanced Manufacturing Technology, London 2001.

<sup>3</sup> Ibidem.



Rys. 1. Porównanie kosztów kształtowanych przez decyzje z rzeczywistymi kosztami produktu  
 Fig. 1. Comparison of costs formed by decisions and real product costs

Źródło: opracowano na podstawie: Farineau T., Rabenasolo B., Castelain J.M., Meyer Y., Duverlie P.:  
 Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase. Advanced  
 Manufacturing Technology, London 2001.



Rys. 2. Wpływ etapów cyklu produkcyjnego na koszty wyrobu

Fig. 2. Influence of production cycle stages on the prime costs of product

Źródło: opracowano na podstawie: Farineau T., Rabenasolo B., Castelain J.M., Meyer Y., Duverlie P.:  
 Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase. Advanced  
 Manufacturing Technology, London 2001.

Największe szanse redukcji kosztów produkcji pojawiają się w momencie powstawania projektu produktu. Jak to już wcześniej przedstawiono, decyzje o co najmniej 80% kosztów wytwarzania zapadają w fazie projektowania i rozwoju produktu. Wyzwanie dla menadżerów polega na dostarczeniu projektantom wartościowych informacji o kosztach (bezpośrednich i pośrednich) w momencie, gdy mają oni największą możliwość wywarcia na nie wpływu.

### 3. Rachunek kosztów działań

Dotychczas projektanci, opierając się na tradycyjnym rachunku kosztów, zwracają uwagę tylko na oszczędności w kosztach bezpośrednich, ponieważ tylko te koszty odzwierciedlają związek przyczynowo-skutkowy. W rachunku tym koszty pośrednie są doliczane do obiektów kosztowych proporcjonalnie do podstawy rozliczania kosztów, którą najczęściej są wydatki bezpośrednie. W tej sytuacji koszty pośrednie nie są analizowane w fazie projektowania procesów produkcyjnych. Przykładowo w rachunku tym koszty gospodarki materiałowej (traktowane jako koszty pośrednie) są naliczane na produkty przez narzut pośrednich kosztów materiałowych, czyli proporcjonalnie do wysokości kosztu materiałów bezpośrednich. W tej sytuacji im koszt jest wyższy, tym wielkość przypisanych pośrednich kosztów materiałowych też jest wyższa i odwrotnie. W przypadku produkcji, w której wykorzystuje się różnorodne materiały, takie podejście jest nieprawidłowe. Jest to spowodowane znacznymi różnicami w cenach materiałów, które są podstawą do wyznaczania pośrednich kosztów materiałowych (czyli zamawiania, transportu, przyjęcia dostawy, magazynowania, wydania na produkcję). Powyższa podstawa, rozliczająca koszty pośrednie stanowisk gospodarki materiałowej, nie wykazuje związku przyczynowego z rozliczonymi kosztami, a jedynie związek umowny, co jest dużym uproszczeniem.

Podobna sytuacja występuje w przypadku pośrednich kosztów przerobu, nazywanych inaczej kosztami wydziałowymi, które w tradycyjnym rachunku kosztów są rozliczane na produkty według kosztów robocizny bezpośredniej, czy też według maszynogodzin. W przypadku produkcji jednostkowej, mało- i średnioseryjnej nie występuje związek pomiędzy pośrednimi kosztami przerobu a kosztami robocizny bezpośredniej czy maszynogodzinami. Wysokość pośrednich kosztów przerobu jest uzależniona od liczby działań i ich kosztów, które przypadają na dany nośnik.

Stosowanie dwóch, trzech podstaw rozliczania kosztów pośrednich nie oddaje w pełni dokładnego rozliczenia powyższych kosztów na nośniki. W tej sytuacji najlepszym narzędziem do wyznaczenia tych kosztów jest rachunek kosztów działań, uwzględniający tyle podstaw rozliczenia, ile wyodrębnionych jest rodzajów działań. Rachunek ten w przeciwieństwie do metod tradycyjnych pozwala przeprowadzić analizę nie tylko kosztów bezpośrednich, lecz także znacznych kosztów pośrednich. Zwraca uwagę nie tylko na

redukcję pojedynczych rodzajów kosztów, lecz pozwala także przeprowadzić redukcję kosztów w ujęciu całkowitym, przy uwzględnieniu wszystkich kosztów.

Punktem wyjścia do zastosowania rachunku kosztów działań jest właściwe wyodrębnienie działań, które są przyczynami powstawania kosztów. W rachunku kosztów działań koszty zebrane według podmiotów muszą zostać ujęte w przekroju działań, a następnie w przekroju obiektów kosztowych (wyrobów i usług). Informacje o kosztach z systemu finansowo-księgowego należy przeorganizować w taki sposób, aby umożliwiły one analizę kosztów z perspektywy procesów i działań. Na podstawie praktyki zawodowej opracowano algorytm kalkulacji kosztów według metody kosztów działań, który przebiega w czterech etapach<sup>4</sup>.

Etap I to identyfikacja istotnych działań występujących w przedsiębiorstwie, etap II to ustalenie kosztów wyodrębnionych działań, etap III to określenie jednostek miar poszczególnych działań.

W etapie III do szacowania kosztów nowych produktów niezbędna jest analiza czynników kosztotwórczych poszczególnych poziomów struktury wyrobu, mająca wpływ na koszty nośników (obiektów elementarnych, elementów, podzespołów, zespołów i wyrobu), pominięta w dostępnych opracowaniach literaturowych. Konieczne jest zatem ustalenie zbioru czynników kosztotwórczych, czyli takich parametrów procesu wytwarzania, które jednoznacznie determinują wartość zmiennych dotyczących wyodrębnionych składników kosztów oraz sposób ich ustalania – tab. 1.

Tabela 1

## Czynniki kosztotwórcze

Poziom agregacji kosztów	Składnik kosztowy	Zmienna kosztowa	Czynnik kosztotwórczy
poziom elementu	bezpośredni koszt materiałowy	norma zużycia materiału	wymiar gabarytowy materiału wyjściowego – x
			wymiar gabarytowy materiału wyjściowego – y
			wymiar gabarytowy materiału wyjściowego – z
			nr normy półfabrykatu
		cena jednostkowa materiału	gęstość tworzywa
			gatunek tworzywa
			nr normy półfabrykatu
			wymiar gabarytowy materiału wyjściowego – x
...			wymiar gabarytowy materiału wyjściowego – y
			wymiar gabarytowy materiału wyjściowego – z
poziom elementu	koszty działań procesu przetwarzania n-tej operacji technologicznej	liczba jednostek miar działania	czas pomocniczy związany z operacją
			czas przygotowawczo-zakończeniowy
			wielkość serii
		stawka działania	stanowisko produkcyjne

<sup>4</sup> Kaplan R., Cooper R.: Zarządzanie kosztami i efektywnością. Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2000; Więcek D.: Określanie kosztów produkcji według rachunku kosztów działań. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 42, Politechnika Śląska, Gliwice 2007.

cd. tabeli 1

poziom elementu	koszty działań procesu zaopatrzenia	liczba jednostek miar działania	nr normy półfabrykatu
		stawka działania	norma zużycia materiału
poziom elementu	koszty działań – opracowanie dokumentacji	liczba jednostek miar działania	wielkość serii
		stawka działania	typ dokumentacji (typowa, modyfikowana, nowa)
...	...	...	...

Źródło: opracowanie własne.

Etap IV to rozliczenie kosztów pośrednich poszczególnych działań na produkty.

Z tradycyjnych metod określania kosztów można skorzystać w sytuacji, kiedy wszystkie cechy charakterystyczne produktu są znane i jest zaprojektowany proces wytwarzania zbliżony do produktów wcześniej wytwarzanych. Problem szacowania kosztów na etapie projektowania wyrobu występuje w momencie, kiedy elementy nie są ostatecznie zaprojektowane. W tym przypadku jest dostępna jedynie przybliżona metoda opierająca się na obiektach elementarnych. W zależności od ilości dostępnych informacji o projektowanym wyrobie korzysta się z szybkich, mniej lub bardziej precyzyjnych metod szacowania kosztów, pozwalających projektantowi na wybór jednego rozwiązania spośród wielu na podstawie kryteriów ekonomicznych. Mając oszacowane poszczególne składniki kosztów, można podejmować właściwe decyzje związane z różnymi koncepcjami projektu<sup>5</sup>.

#### 4. Metody szacowania kosztów

Szacowanie kosztów produkcji jest procesem przybliżonego określania kosztów produkcji, zanim wszystkie fazy cyklu życia produktu zostały zakończone, na podstawie informacji wygenerowanych na zakończonych etapach tego cyklu<sup>6</sup>. Obniżanie kosztów produktów daje największe efekty na jak najwcześniejszym etapie cyklu życia produktu i zasadnym jest, aby koszt stał się jednym z kryterium oceny projektu. Zgodnie z tą koncepcją wyróżniamy dwa podejścia do obniżania kosztów projektowanego produktu, w których konieczne jest zastosowanie metod określania kosztów pozwalających ustalić na podstawie posiadanych informacji o projektowanym wyrobie ich całkowitych kosztów na jak wcześniejszej fazie cyklu życia produktu<sup>7</sup> – rys. 3.

<sup>5</sup> Roy R., Kerr C.: Cost engineering: Why, what and how? Decision Engineering Report Series. Cranfield University, Cranfield 2003.

<sup>6</sup> Ibidem.

<sup>7</sup> Brinke E.: op.cit.



Rys. 3. Koncepcje obniżania kosztów projektowanego produktu

Fig. 3. Concepts of reducing cost of designed product

Źródło: opracowano na podstawie: Brinke E.: Costing support and cost control in manufacturing. PhD. Thesis, University of Twente, Enschede 2002.

Metody, które operują na niepełnym zbiorze informacji potrzebnych do określania ostatecznych kosztów produkcji projektowanego wyrobu, są określane jako metody szacowania kosztów. Wyróżnia się mniej lub bardziej precyzyjne metody szacowania kosztów, które są uzależnione od ilości dostępnych informacji, tj. metody: intuicyjne, analogiczne (wariantowe), analityczne (generacyjne), statystyczne i parametryczne, przedstawione w tabeli 2<sup>8</sup>.

Tabela 2

## Podział metod szacowania kosztów

Grupy	Charakterystyka
Metody intuicyjne (przez doświadczenie)	Opierające się na wiedzy i doświadczeniu eksperta, który na podstawie informacji o projektowanym produkcie jest w stanie określić jego koszty. Metody te pozwalają na uzyskanie niepewnych i mało dokładnych wyników uzależnionych od subiektywnej oceny eksperta. Jednocześnie są to metody bardzo tanie.
Metody analogiczne (wariantowe)	Wykorzystujące systemy klasyfikacyjne, określanie kosztów projektowanych produktów na podstawie podobieństwa z produktami wcześniej wytwarzanymi w danym systemie produkcyjnym. Metody te często są stosowane równolegle z metodami technologii grupowej wykorzystywanej do projektowania procesów produkcyjnych.
Metody analityczne (generacyjne)	Pozwalają na określenie kosztów projektowanego produktu na podstawie dekompozycji założonej metody produkcji na zadania elementarne, dla których znane są koszty. Metoda ta pozwala na uzyskiwanie bardzo dokładnych wyników, ale jest bardzo kosztowna.
Metody statystyczne i parametryczne	Dążą do sprowadzenia kosztów do funkcji kilku istotnych parametrów, które można określić w łatwy sposób w początkowych fazach projektowania produktu.

Źródło: opracowano na podstawie: Roy R., Kerr C.: Cost engineering: Why, what and how? Decision Engineering Report Series. Cranfield University, Cranfield 2003.

<sup>8</sup> Ibidem; Roy R., Kerr C.: Cost engineering: Why, what and how? Decision Engineering Report Series. Cranfield University, Cranfield 2003.

Rozwiązania omówione w literaturze ograniczają się do wyboru jednej z metod szacowania kosztów. Takie podejście powodowało ograniczone zastosowanie tych rozwiązań z punktu widzenia dokładności uzyskiwanych wyników w różnych fazach procesu produkcyjnego.

Generalnie systemy szacowania kosztów opierają się na stałych danych kosztowych, które w sytuacji ciągłych zmian struktury ponoszonych nakładów przez przedsiębiorstwo powodują to, że szacowane koszty daleko odbiegają od rzeczywistych kosztów analizowanych elementów. W systemach, które wykorzystują sprzężenia z systemami kalkulacji kosztów, stosowane są tradycyjne rachunki kosztów.

## 5. Proponowana metoda określania kosztów elementów maszyn

W metodzie tej zastosowano zasady identyfikacji elementów, dzięki czemu możemy wyszukać wcześniej zaprojektowane procesy wytwarzania elementów podobnych. W tym celu potrzebny jest system opisu cech projektowanego elementu z podziałem na cechy: konstrukcyjne, organizacyjne oraz związane z wytwarzaniem. Najliczniejszą grupą są konstrukcyjne cechy opisujące projektowane elementy, w których wyróżnia się cechy geometryczne oraz cechy związane z materiałem wyjściowym do produkcji. Istotnym elementem metody opisu projektowanych elementów są konstrukcyjne obiekty elementarne, które w bezpośredni sposób tworzą postać konstrukcyjną projektowanego elementu i każdy z nich jest powiązany z jedną konstrukcyjną cechą opisującą projektowany obiekt<sup>9</sup>.

Wyszukiwanie procesu wytwarzania odbywa się na podstawie podobieństwa cech konstrukcyjnych, wytwarzania i organizacyjnych nowego elementu oraz elementu już produkowanego, czyli na podstawie parametrycznego opisu projektowanego elementu. Opis ten jest konieczny przy przeszukiwaniu istniejącej bazy procesów wytwarzania w celu wyszukania marszruty procesu dla wcześniej projektowanego elementu, który na podstawie cech konstrukcyjnych, wytwarzania i organizacyjnych jest najbliższy nowemu elementowi<sup>10</sup>.

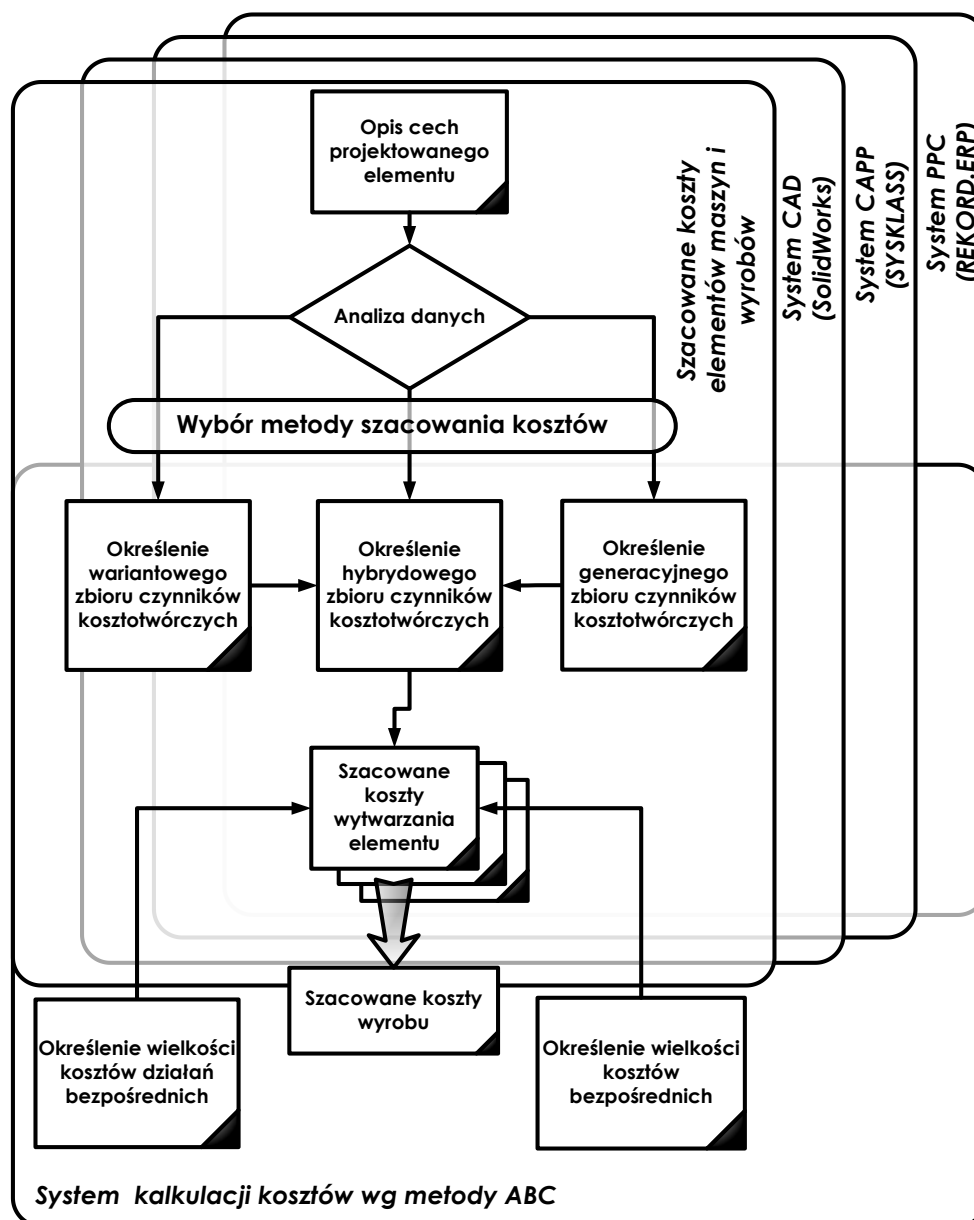
Metoda ta korzysta z modelu określania kosztów produkcji elementów maszyn na podstawie rachunku kosztów działań. W zależności od informacji wygenerowanych na różnych etapach projektowania procesu produkcyjnego, wspomaganego przez systemy CAx, lub informacji przechowywanych w bazach danych tych systemów w zaproponowanej metodzie tok postępowania podzielono na kilka faz. Umieszczenie poszczególnych faz w obszarach funkcjonalnych systemów CAx dla przyjętego modelu postępowania przedstawiono na rys. 4.

---

<sup>9</sup> Więcek D.: Implementation of artificial intelligence in estimating prime costs of producing machine elements. "Advances in Manufacturing Science and Technology", Vol. 37, No. 1, 2013.

<sup>10</sup> Ibidem.





Rys. 4. Model postępowania w zaproponowanej metodzie  
 Fig. 4. General model of procedure in the proposed method  
 Źródło: opracowanie własne.

Koszty szacunkowe generowane przy wykorzystaniu zaproponowanej metody są kosztami o różnym poziomie dokładności dopasowania do kosztów rzeczywistych projektowanego elementu. Są one określane na podstawie wartości czynników kosztotwórczych, które są ustalane zgodnie z różnymi algorytmami. W zależności od ilości posiadanych informacji zwiększa się dopasowanie wartości czynników kosztotwórczych do wartości rzeczywistych dotyczących elementu projektowanego. Zależnie od posiadanych informacji o projektowanym elemencie metoda generuje następujące koszty szacunkowe:

- koszt wariantowy; jest to koszt określony na podstawie wariantowego zbioru wartości czynników kosztotwórczych podanych dla elementu wzorcowego, który jest najbardziej podobny do elementu projektowanego z punktu widzenia wartości parametrów cech opisujących projektowany element. Koszty określone na podstawie takiego zbioru wartości czynników kosztotwórczych są kosztami wytwarzania elementu wariantowego wyznaczonymi na podstawie wielkości wartości stawek miar jednostek działań kosztowych wyznaczonych w danym okresie obrachunkowym;
- skorygowany koszt wariantowy; jest to koszt ustalony według skorygowanych wielkości czynników kosztotwórczych na podstawie różnic parametrów projektowanego elementu a elementu najbliższego;
- koszt generacyjny; to koszt wyznaczony na podstawie generacyjnych zbiorów wartości czynników kosztotwórczych ustalonych dla elementu projektowanego; wymagane jest, aby wszystkie cechy opisujące projektowany element były jednoznacznie określone;
- koszt hybrydowy; jest szacunkowym kosztem, w przypadku którego podstawą określenia jego wartości jest wartość skorygowanego kosztu wariantowego pomniejszana o wartość kosztów generacyjnych ustalonych dla elementu wariantowego, a powiększana o wartość kosztów generacyjnych określonych dla elementu projektowanego. Dla tego rodzaju kosztu kosztami generacyjnymi są koszty zabiegów technologicznych oraz materiałów bezpośrednich.

## 6. Podsumowanie

Wartości kosztów własnych elementów maszyn są uzależnione od wartości parametrów cech konstrukcyjnych, wytwarzania i organizacyjnych określanych na etapie projektowania procesów produkcyjnych. Zbudowanie odpowiednich modeli wyznaczania kosztów na podstawie rachunku kosztów działań pozwoli dokładniej określać zużycie zasobów na dany obiekt kosztowy w szacowaniu kosztów projektowanych elementów na każdym etapie projektowania procesów produkcyjnych.

Zaproponowane podejście do szacowania kosztów produkcji (bezpośrednich i pośrednich) nowego produktu na etapie projektowania procesów produkcyjnych umożliwi identyfikację kosztów działań oraz zapewni pewność służb marketingowych i menadżerów przy negocjowaniu ceny i warunków dostawy. Obecnie koszt nowego wyrobu, zespołu, elementu, obiektu elementarnego jest szacowany przez projektantów, menadżerów z dużą niepewnością; na przykład narzut kosztów pośrednich jest rzędu 400-700%. Dopiero po realizacji zlecenia na podstawie poniesionych rzeczywistych kosztów okresu okazywało się, że niektóre zaakceptowane przez nich decyzje były nieopłacalne.

## Bibliografia

1. Brinke E.: Costing support and cost control in manufacturing. PhD. Thesis, University of Twente, Enschede 2002.
2. Novák-Marciničín J., Kuric I., Legutko S., Nováková-Marcinčinová L.: Computer aided technical preparation of production. University of Žilina, Žilina 2011.
3. Farineau T., Rabenasolo B., Castelain J.M., Meyer Y., Duverlie P.: Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase. Advanced Manufacturing Technology, London 2001.
4. Kaplan R., Cooper R.: Zarządzanie kosztami i efektywnością. Oficyna Ekonomiczna, Kraków 2000.
5. Roy R., Kerr C.: Cost engineering: Why, what and how? Decision Engineering Report Series. Cranfield University, Cranfield 2003.
6. Więcek D.: Określanie kosztów produkcji według rachunku kosztów działań. Zeszyty Naukowe, s. Organizacja i Zarządzanie, z. 42, Politechnika Śląska, Gliwice 2007.
7. Więcek D.: Implementation of artificial intelligence in estimating prime costs of producing machine elements. "Advances in Manufacturing Science and Technology", Vol. 37, No. 1, 2013.

## Abstract

The proposed method of cost estimation is based on a formalised description of information about features of construction, manufacturing and organisation related to the designed element, automation method of technological processes design (variant design) using methods of group technology and a model of production costs of machine elements based on Activity Based Costing. With the manufacturing process of the closest element and the data about the value of costogenic factors, together with a cost calculation system, it is possible to determine manufacturing costs of a designed element. The parametric description will later be used when correcting the so called costogenic factors on the basis of differences between parameters of the designed element and its closest counterpart.