

dr hab. inż. Dariusz Plinta, dr inż. Dariusz Więcek
Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Katedra Inżynierii Produkcji

SZACOWANIE KOSZTÓW WYTWARZANIA ELEMENTÓW MASZYN Z WYKORZYSTANIEM NARZĘDZI WSPOMAGAJĄCYCH PROJEKTOWANIE PROCESÓW PRODUKCYJNYCH

W artykule przedstawiono założenia ustalania wielkości czynników kosztotwórczych obiektów kosztowych na podstawie wielkości parametrów cech obrabianego przedmiotu określanych na etapie projektowania danego elementu. Przedstawiono sposób opisu cech związanych z konstrukcją, wytwarzaniem i organizacją produkcji elementu na etapie przygotowania produkcji

ESTIMATING THE COST OF MANUFACTURING OF MACHINES USING TOOLS DESIGN SUPPORTING PRODUCTION PROCESSES

The methodology of determination of manufacturing costs for machine elements on the stage of production process design has been presented in the paper. The presented methodology is based on two approaches to the automation manufacturing process planning (hybrid process planning method). The investigation is focused on the selection of relevant geometrical and technological information in the part, their binary representation and data acquisition from the drawing.

1. WSTĘP

O przetrwaniu przedsiębiorstwa na rynku w głównej mierze decyduje jego konkurencyjność. Optymalizacja zasobów w przedsiębiorstwie, obok wysokiej jakości wyrobów i nowoczesnych technologii ich wytwarzania, stała się kluczowym czynnikiem decydującym w zdobywaniu przewagi konkurencyjnej na rynku [3]. Zgodnie z [6, 12] w trakcie procesu projektowania rozpatrywane jest wiele możliwych wariantów rozwiązania zadania projektowego. Każdy z tych wariantów jest poddawany ocenie użyteczności, której jednym z trzech kryteriów jest koszt produkcji danego rozwiązania. Wykorzystując tradycyjne metody określenia kosztów uzyskanie informacji o wartościach kosztów można uzyskać dopiero w momencie zakończenia procesu projektowania procesu produkcyjnego.

Współczesne komputerowe systemy wspomaganie projektowania **CAD** i **CAP** pozwalają wygenerować potrzebne dane dotyczące określenia wartości czynników kosztotwórczych. Określenie danych dla projektowanego elementu jest pracochłonne. Podstawowym problemem jest brak bezpośredniego sprzężenia systemów **CAD** i **CAP**. Powiązanie tych dwóch systemów w większości przypadków odbywa się za pośrednictwem dialogowych systemów klasyfikacyjnych [1]. Stosowane klasyfikatory i systemy kodujące elementów maszyn opracowane w celu wdrożenia systemów technologii grupowej pozwalające określić podobieństwo konstrukcyjno-technologiczne, nie dają jednak dostatecznych przesłanek do przyjęcia podobieństwa kosztowego. W takiej sytuacji, w systemach szacowania kosztów elementów maszyn, lepsze wyniki uzyskuje się przy wykorzystaniu opisu projektowanych elementów bazujące na tworzeniu struktury **modelu 3d** projektowanego elementu, przy wykorzystaniu funkcjonalnych obiektów elementarnych (geometryczne, technologiczne, tworzywowe itp.). Projektowanie procesów w oparciu o obiekty elementarne wykorzystuje zasady generacyjnych metod automatyzacji projektowania procesów wytwarzania [4, 7].

Generalnie systemy szacowania kosztów opierają się na stałych danych kosztowych, które w sytuacji ciętych zmian struktury ponoszonych nakładów przez przedsiębiorstwo powodują, że szacowane koszty daleko odbiegają od rzeczywistych kosztów analizowanych elementów. W systemach, które wykorzystują sprzeczności z systemami kalkulacji kosztów stosowane są tradycyjne rachunki kosztów. Zastosowanie rachunku kosztów działań w systemach szacowania kosztów, ogranicza się do kosztów działań procesów przetwarzania z pominięciem pozostałych kosztów, ewentualnie pozostałe koszty procesu produkcyjnego naliczane są w postaci narzutów.

2. OPIS CECH PROJEKTOWANYCH ELEMENTÓW

Podstawowym warunkiem dokładnego szacowania kosztów jest ustalenie wartości czynników kosztotwórczych związanych w procesem wytwarzania danego elementu na podstawie informacji o cechach, jakim i ten element charakteryzuje się z punktu widzenia konstrukcji, wytwarzania i organizacji produkcji. W tym celu zbiór cech opisujących elementy projektowane (*COPE*) podzielono na cechy konstrukcyjne (*KCOPE*), cechy organizacyjne (*OCOPE*) oraz cechy związane z wytwarzaniem (*WCOPE*). Dla *OCOPE* wyodrębniono jeden rodzaj cech związanych z seryjnością procesu wytwarzania. Najliczniejszą grupą cech są *KCOPE*, które dodatkowo podzielono na cechy geometryczne (*GCOPE*) oraz cechy związane z materiałem wyjściowym do produkcji (*MCOPE*). Cechy *GCOPE* zgodnie z [5] określają strukturę zewnętrzną projektowanego elementu, zakładając, że każda cecha opisana jest zbiorem parametrów to te parametry określają makro i mikrostrukturę danej *GCOPE*. Istotnym elementem zaproponowanej metody opisu projektowanych elementów są konstrukcyjne obiekty elementarne (*KOBE*). *KOBE* są obiektami, które w bezpośredni sposób tworzą postać konstrukcyjną projektowanego elementu i każdy z nich jest powiązany z jedną *KCOPE*. Jeżeli *KCOPE* są tworzącymi opis projektowanego elementu to *KOBE* tworzą zapis jego konstrukcji.

W projektowaniu procesów produkcyjnych występuje bardzo dużo działań heurystycznych spowodowane jest to brakiem modelu matematycznego projektowanego obiektu (np. zmienne są niezdefiniowane, nie są znane zależności pomiędzy zmiennymi), czy też brakiem możliwości pełnych obliczeń przy istnieniu modelu. W tej sytuacji podejmowane są próby formalnego zapisu wiedzy heurystycznej (opartej na intuicji, doświadczeniu), tak by mogła stać się podstawą do napisania programów komputerowych. Wyróżnia się między innymi następujące metody sztucznej inteligencji związane z projektowaniem procesów produkcyjnych:

- sztuczne sieci neuronowe;
- systemy ekspertowe;
- algorytmy genetyczne.

System ekspertowy (*SE*) daje możliwość rozwiązywania specjalistycznych problemów wymagających profesjonalnej ekspertyzy, czyli może zastąpić specjalistę w danej dziedzinie, często bez konieczności obecności eksperta w czasie pracy systemu. Cechą charakterystyczną systemu jest oddzielenie wiedzy pozyskanej od eksperta z danej dziedziny, zwaną bazą wiedzy od reszty systemu zawierającej między innymi i mechanizmy rozumowania na podstawie zasobów wiedzy z tej dziedziny [7, 13]. Systemy ekspertowe ogólnie można podzielić na trzy kategorie [11]:

- *doradcze (advisory)* – są to systemy przedstawiające użytkownikowi pewne rozwiązania, które są przez niego oceniane w celu dobrania najodpowiedniejszego rozwiązania, bądź żądania innego rozwiązania;

- *podejmujące decyzje bez kontroli człowieka (dictatorial)* – są to takie systemy, które nie konsultują wyników końcowych z użytkownikiem;
- *krytykujące (criticizing)* charakteryzują się przyjmowaniem wartościowych dotyczących postawionego problemu i ewentualnego rozwiązania. Rola systemu sprowadza się do analizy problemu i skomentowania zaproponowanego rozwiązania.

Systemy ekspertowe mają zdolność do [8, 11]:

- gromadzenia kompletnej wiedzy z danej dziedziny oraz ciągłej jej aktualizacji;
- naśladowania sposobu rozumowania eksperta, czego efektem jest oferowanie decyzji i ich wariantowanie;
- wyjaśniania sposobu rozumowania prowadzącego do przyjętych rozwiązań;
- porozumiewania się z użytkownikiem w wygodnym dla niego języku.

Przedstawienie wiedzy w *SE*

Metoda reprezentacji wiedzy powinna umożliwić prosty, zwarty, kompletny, zrozumiały i wyraźny zapis wiedzy. Dla przedstawienia wiedzy konieczne jest zebranie informacji z danej dziedziny, sformułowanie jej w postaci stwierdzeń i odpowiednie zakodowanie jej. Do najczęściej stosowanych sposobów przedstawiania wiedzy należą metody opierające się na zastosowaniu logiki formalnej (rachunek zdań, rachunek predykatów) oraz nieformalne sposoby, tj. sieci semantyczne, ramy, stwierdzenia, reguły [7, 13].

Pozyskiwanie wiedzy

Proces pozyskiwania wiedzy umożliwia zrozumienie oraz otrzymanie sposobu rozwiązywania problemów decyzyjnych w określonej dziedzinie, a także połączony jest z zapisem pozyskanej wiedzy. Proces ten rozumiany jest również, jak o uczenie połączone z nabyciem umiejętności efektywnego wykorzystania wiedzy [13].

Wyróżnia się następujące metody pozyskiwania wiedzy [11, 13]:

- bezpośrednie zapisywanie wiedzy poprzez obserwację pracy eksperta rozwiązującego problem;
- analiza wiedzy na podstawie instrukcji eksperta przez udział nauczyciela i wykorzystanie wskazanych przez niego źródeł wiedzy o raz przekształcenie jej na potrzeby *SE*;
- analiza wiedzy na podstawie realnych przykładów określonych i rozwijanych przez eksperta;
- pozyskiwanie wiedzy na podstawie analogii poprzez przekształcenie istniejącej wiedzy uprzednio opisanej w celu opisu faktów podobnych.

Proces pozyskiwania wiedzy jest to wielokrotnie powtarzany cykl działań w celu ulepszenia bazy wiedzy oraz poprawienia, jakości decydującej o właściwym działaniu *SE*.

Przedstawiona metoda dotyczy wygenerowania zbioru parametrów procesu wytwarzania związanych z cechami i opisującymi projektowany element (*COPE*). W szczególności moduł na podstawie zbioru *COPE* oraz wartości parametrów opisujących projektowany element generuje zbiór wartości parametrów procesu wytwarzania związanych z podzbiórami rozumianymi tutaj jako zabiegi technologiczne, które są wymagane, aby dana cecha uzyskała właściwości zgodne z założeniami konstrukcyjnymi. Schemat funkcjonowania tego modułu przedstawiono na rys. 1. Zabieg jest to część operacji dotycząca obróbki jednej powierzchni, jednym narzędziem przy stałych parametrach obróbki. Podstawowym narzędziem w tym module jest dedykowany system ekspertowy. Zgodnie z założeniami budowy systemów

ekspertowych, wyodrębniono w proponowanym systemie bazy danych analizowanych obiektów w postaci:

- zbiorów $COPE - FP_{\xi}^{EP}$;
- zbiorów wartości parametrów opisujących $COPE - VPT^{EP}$.

Baza wiedzy technologicznej

Zaproponowana baza wiedzy technologicznej przechowuje podstawową wiedzę technologiczną, która została pozyskana od eksperta. Zebrana w bazie wiedza musi umożliwić określenie wartości parametrów procesu wytwarzania, dlatego dotyczy ona informacji o zbiorach zabiegów technologicznych dla danej cechy, wymaganym dla osiągnięcia założonych wartości parametrów użytkowych w przyjętym wariantcie procesu wytwarzania oraz dla każdego zabiegu informacji o stanowisku produkcyjnym oraz grupy zaszerogowania pracowników odpowiedniej dla zadanego zabiegu technologicznego.

Bardzo istotnym etapem projektowania bazy wiedzy jest ustalenie sposobu reprezentacji wiedzy. Na podstawie przeprowadzonych analiz przyjęto reprezentację wiedzy w formie ram i reguł. Reprezentacja wiedzy technologicznej w postaci ram została podyktowana mnogością oraz różnorodnością gromadzonych informacji dla poszczególnych $COPE$. Stąd wynika podział wiedzy na ramy dla poszczególnych $COPE$ $\{rama f_{\phi}\}_{\phi=1, \dots, \Phi}$.

Każda z ram powiązana jest ze zbiorem reguł $\{reg f_{\phi}^r\}_{\phi=1, \dots, \Phi, r=1, \dots, R}$, na podstawie których

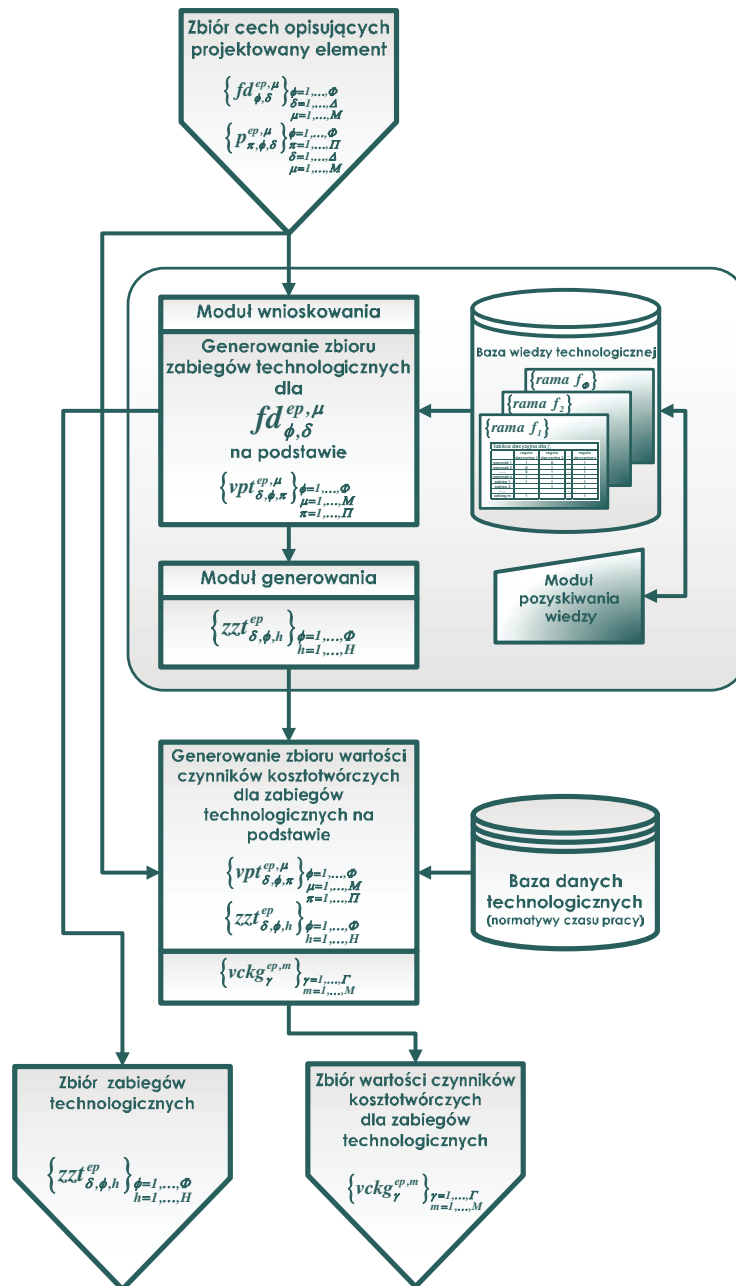
określany jest zbiór zabiegów pozwalających uzyskać wartości parametrów zadanych dla danej cechy, przy określonych wartościach parametrów opisujących pozostałe $COPE$ dla danego elementu, w tym dla jakiego wariantu procesu wytwarzania jest przewidziany. Do reprezentacji wiedzy dla danej ramy wykorzystano tablice decyzyjne. Zastosowanie tablic decyzyjnych zostało podyktowane tym, że zapis wiedzy w obrębie danej ramy opiera się o reguły wnioskowania, a konkluzja danej reguły dotyczy wyboru zbioru zabiegów technologicznych wraz z przypisanymi stanowiskami produkcyjnymi i grupami pracowników ma charakter działań.

W zaproponowanej w pracy bazie wiedzy, przesłanki tworzone są na podstawie wartości parametrów $COPE$ oraz tolerancji wartości tych parametrów. Każda przesłanka jest zdaniem logicznym, które jest koniunkcją wyrażeń sprawdzających czy wartość parametru zawiera się w założonym przedziale oraz czy tolerancja danej wartości zawiera się w określonym przedziale. Wartość logiczna przesłanki przyjmuje wynik logiczny zadania, określonego dla niej lub jego zaprzeczenie, w zależności od reguły, w której ta przesłanka jest rozpatrywana. Wartość logiczna przesłanki może przyjąć wartość:

- 1 – jeżeli istotnym jest prawdziwość przesłanki w danej regule;
- 0 – jeżeli istotnym jest fałszywość przesłanki w danej regule;
- „” – jeżeli przesłanka jest nieistotna w danej regule.

W zaproponowanej w pracy bazie wiedzy, przesłanki tworzone są na podstawie wartości parametrów $COPE$ oraz tolerancji wartości tych parametrów. Każda przesłanka jest zdaniem logicznym, które jest koniunkcją wyrażeń sprawdzających czy wartość parametru zawiera się w założonym przedziale oraz czy tolerancja danej wartości zawiera się w określonym przedziale. Wartość logiczna przesłanki przyjmuje wynik logiczny zadania, określonego dla niej lub jego zaprzeczenie, w zależności od reguły, w której ta przesłanka jest rozpatrywana. Wartość logiczna przesłanki może przyjąć wartość:

- 1 – jeżeli istotnym jest prawdziwość przesłanki w danej regule;
- 0 – jeżeli istotnym jest fałszywość przesłanki w danej regule;
- „” – jeżeli przesłanka jest nieistotna w danej regule.



Rys. 1. Schemat generowania wartości parametrów procesu wytwarzania dla poszczególnych COPE [opracowanie własne]

Każda reguła w proponowanej bazie wiedzy powiązana jest ze zbiorem zabiegów technologicznych wymaganych do osiągnięcia zadanych parametrów konstrukcyjnych rozpatrywanej cechy. Można zatem powiedzieć, że każda z reguł jest wariantem procesu wytwarzania.

Wartość działań, czyli stwierdzenie, czy dane działanie (zabieg technologiczny) ma być wykonane, jeżeli dana reguła jest spełniona, przyjmuje wartości powiązane z kolejnością

występowania danego zabiegu w wariancie procesu (reguła) lub wartość NULL, jeżeli dany zabieg nie występuje w danym wariancie.

Przyjęcie danego wariantu, czyli spełnienie danej reguły następuje wtedy, gdy wszystkie istotne przesłanki dla tej reguły przyjęły wartość określoną w części tablicy decyzyjnej zawierającej wartości przesłanek. Tablica 1 przedstawia fragment przykładowej tablicy decyzyjnej dla ramy związanej z *COPE F76_k01 (otwory przelotowe proste)*.

W tak skonstruowanej tablicy wyodrębniono oprócz już wcześniej omówionych elementów jeszcze takie, które wspomagają budowę warunków logicznych tworzących przesłanki. Przedstawiona tablica zawiera informacje o parametrach (kolumna: *param*), których wartości rozpatrywane są w warunkach logicznych oraz informacje o granicach przedziałów wartości przyjmowanych przez te parametry oraz ich tolerancje (kolumny: *od_val*, *do_val*, *od_IT*, *do_IT*).

Tab. 1 Tablica decyzyjna dla ramy {rama F76_k01} – otwory przelotowe proste (fragment)
[opracowanie własne]

{rama F76_k01} – otwory przelotowe proste								
	Opis parametru	od_val	do_val	od_IT	do_IT	war1	war2	war3
p1	otwory przelotowe proste średnica wew. D.	0	26	20	12			1
p2	otwory przelotowe proste średnica wew. D.	26,01	40	20	12	1		
p3	otwory przelotowe proste średnica wew. D.	41	500	20	12		1	
p4	otwory przelotowe proste długość L	0	60	20	12	1	1	1
p5	otwory przelotowe proste chropowatość	0,64	12,5	0	0	1	1	1
p6	pręty okrągłe typ	0	4	0	0	1	1	1
d1	zab: toczenie rozwiercać zgrubnie / stan: 0440102 / prac: tokarz					3		2
d2	zab: toczenie wiercić-powiercać / stan: 0440102 / prac: tokarz					2	2	
d3	zab: toczenie wiercić z posuwem maszynowym / stan: 0440102 / prac: tokarz					1	1	1
d4	zab: wytaczać kształtując wzdłużnie chropow.Ra3.2 / stan: 0440102 / prac: tokarz						4	
d5	zab: wytaczać zgrubnie wzdłużnie / stan: 0440102 / prac: tokarz						3	

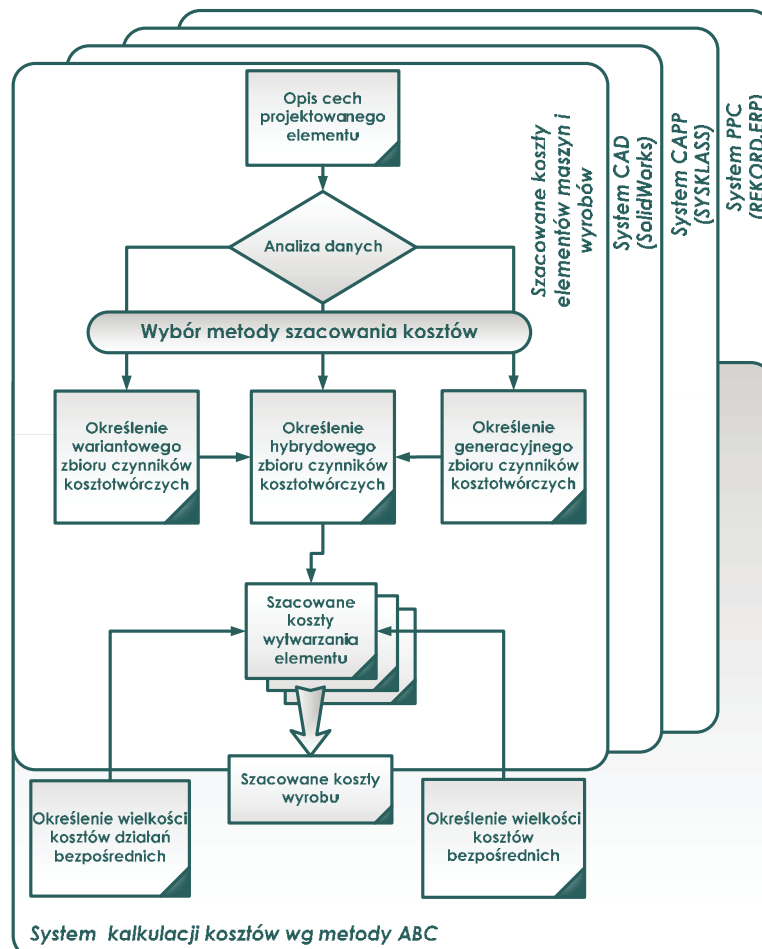
4. PROPONOWANA METODA OKREŚLANIA KOSZTÓW ELEMENTÓW MASZYN NA ETAPIE PRZYGOTOWANIA PRODUKCJI

Proponowaną metodę określania kosztów elementów maszyn można zaliczyć do metod szacowania kosztów. Opiera się ona o sformalizowany opis informacji o cechach konstrukcyjnych, wytwarzania i organizacyjnych dotyczących projektowanego elementu, metody automatyzacji projektowania procesów technologicznych (projektowanie wariantowe, projektowanie generacyjne) wykorzystujące metody technologii grupowej, sztucznej inteligencji (rozpoznanie obrazów, systemy eksperckie) oraz model określania kosztów produkcji elementów maszyn oparty o metodę rachunku kosztów działań. Te założenia lokują proponowaną metodę wśród grupy hybrydowych (łączących wcześniej wymienione metody) metod szacowania kosztów.

Tok postępowania w proponowanej metodzie podzielono na kilka faz, które wykorzystują informacje generowane na różnych etapach projektowania procesu produkcyjnego wspomaganego przez systemy CAx lub informacje przechowywane w bazach danych tych systemów. Przyjęty model postępowania oraz umiejscowienie poszczególnych faz w obszarach funkcjonalnych systemów CAx przedstawiono na rys. 2.

4.1. Model określania kosztów produkcji elementów maszyn

Koszt produkcji wyrobu obejmuje całość kosztów czynności, w wyniku, których z materiału lub materiałów powstaje gotowy wyrób o określonej wartości użytkowej. Złożoność wyrobu określona stopniem komplikowania oraz powiązania konstrukcyjne i wytwarzania zachodzące między poszczególnymi poziomami wyrobu (zespoły, podzespoły, elementy) [2].



Rys. 2. Ogólny model postępowania w proponowanej metodzie

Wartości parametrów dotyczących procesów w wytwarzaniu zaprojektowanych metodą wariantową lub metodą generacyjną nie odnoszą się bezpośrednio do zmiennej wpływającej na wartość poszczególnych składników kosztów produkcji. Konieczne, zatem jest ustalenie zbioru czynników kosztotwórczych, czyli takich parametrów procesu wytwarzania, które jednoznacznie determinują wartość zmiennych dotyczących wyodrębnionych składników kosztów oraz sposobu ich ustalania.

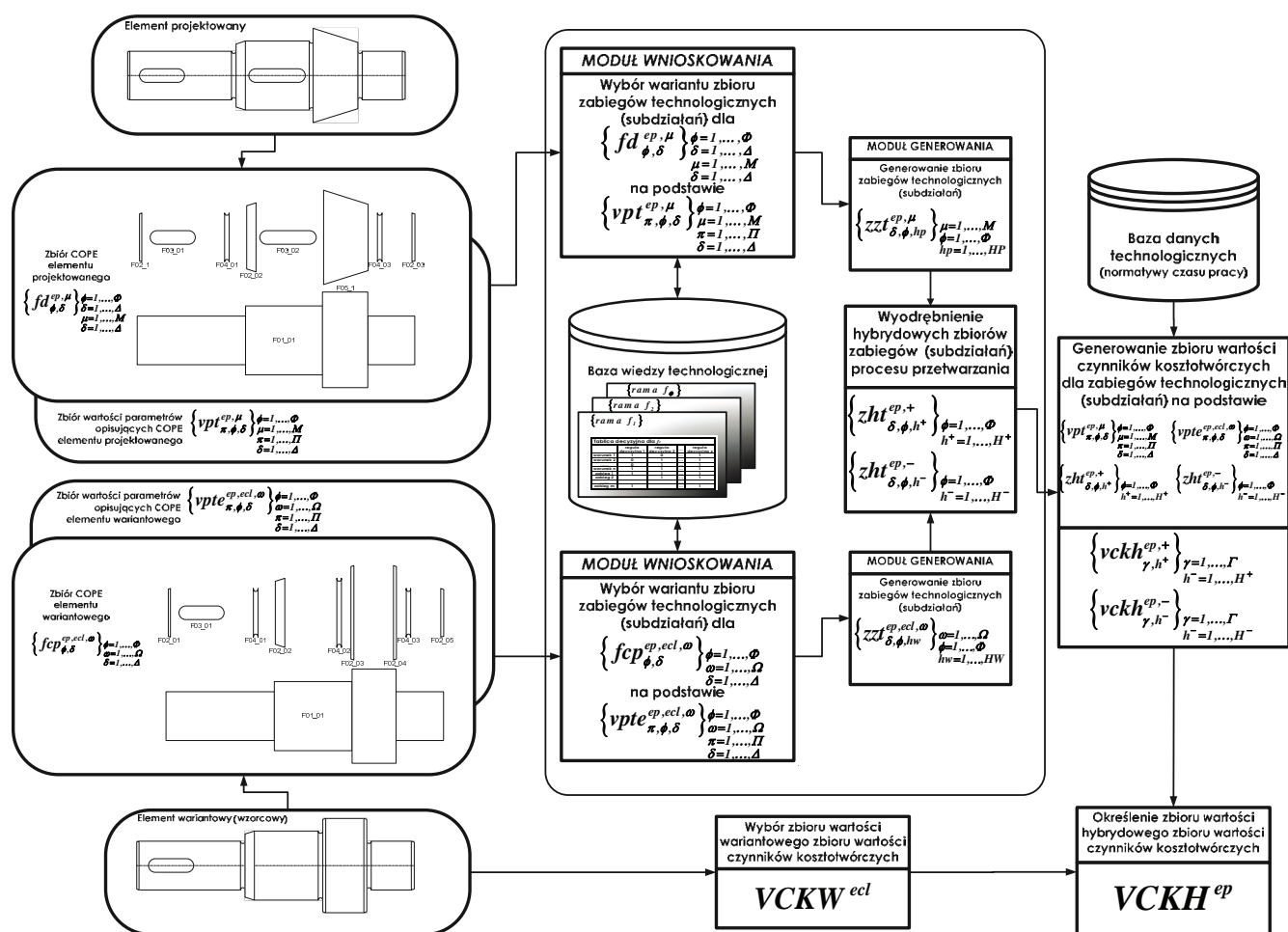
4.2. Metoda hybrydowa tworzenia zbioru wartości czynników kosztotwórczych

Podstawowym zadaniem, które musi być wykonane jest ustalenie wartości czynników kosztotwórczych na podstawie opisu projektowanego elementu wykorzystującego zbiory **COPE** oraz wartości parametrów opisujących poszczególne **COPE**. Zadanie to może zostać przeprowadzone na trzy różne sposoby, wykorzystując podejście wariantowe, podejście generacyjne i hybrydowe łączące obydwa poprzednie.

W sytuacji, jeżeli zbiór **COPE** dla elementu projektowanego po decyzji projektowej δ nie został jeszcze w pełni ustalony, niemożliwe jest zastosowanie wyłącznie generacyjnego podejścia do tworzenia zbioru czynników kosztotwórczych, ponieważ określone koszty

szacunkowe na podstawie takiego zbioru wartości czynników kosztotwórczych daleko odbiegałyby od kosztów rzeczywistych. Taka sytuacja zostałaby spowodowana przez niemożność wygenerowania przez system ekspertowy zbioru zabiegów (subdziałań) procesu przetwarzania dla **COPE** niejednoznacznie opisanych, czyli takich, dla których nie wszystkie wartości parametrów tych **COPE** nie mają określonych wartości lub nie określono tolerancji tych wartości. Wystąpienie takich przypadków daje podstawy do zaproponowania podejścia hybrydowego do tworzenia zbioru wartości czynników kosztotwórczych.

Schemat postępowania w przedstawionym podejściu przedstawiono na Rys. 3. W przypadku hybrydowego podejścia system generuje odrębnie zbiory subdziałań dla elementu projektowanego i wariantowego. W podejściu hybrydowym zbiory te są poddawane analizie w celu wyodrębnienia hybrydowych zbiorów zabiegów (subdziałań) procesu przetwarzania.

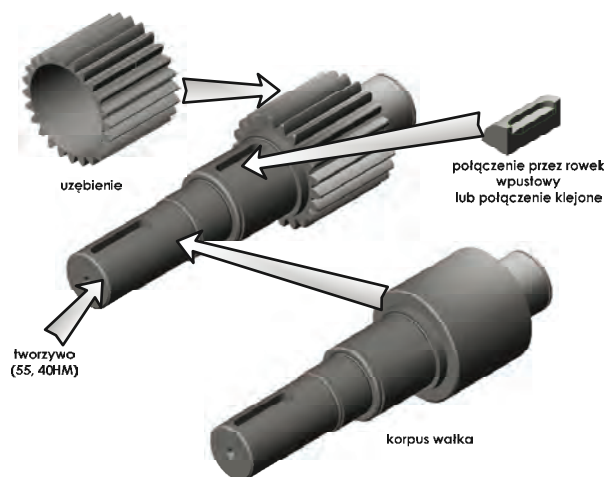


Rys. 3. Schemat hybrydowego określania wartości czynników kosztotwórczych

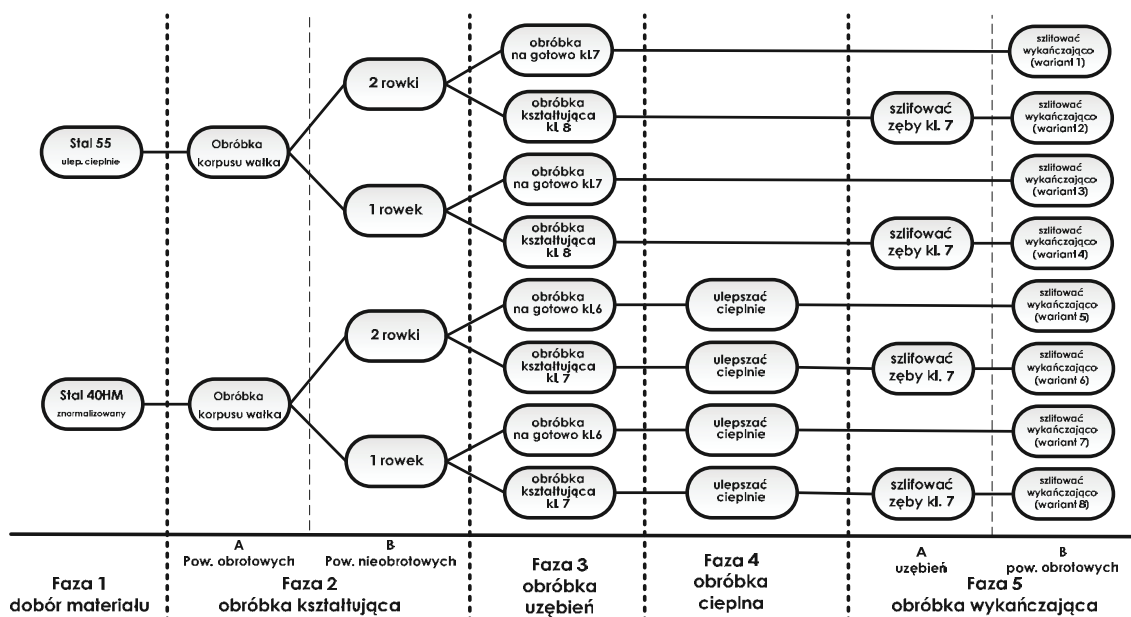
5. PRZYKŁAD

Dla zobrazowania możliwości analizy zmian kosztu własnego projektowanego elementu w trakcie procesu zapisu konstrukcji elementu przedstawionego na Rys. 4 przeprowadzono analizę zmian kosztu szacunkowego tego elementu w trakcie kolejnych zmian w tworzeniu zapisu konstrukcji.

Pierwszym etapem przeprowadzenia szacowania kosztów własnych wytwarzania na etapie projektowania dla przykładowego elementu jest określenie wariantów tworzenia postaci konstrukcyjnej. Zbiór ustalonych wariantów obrazuje rys. 5.

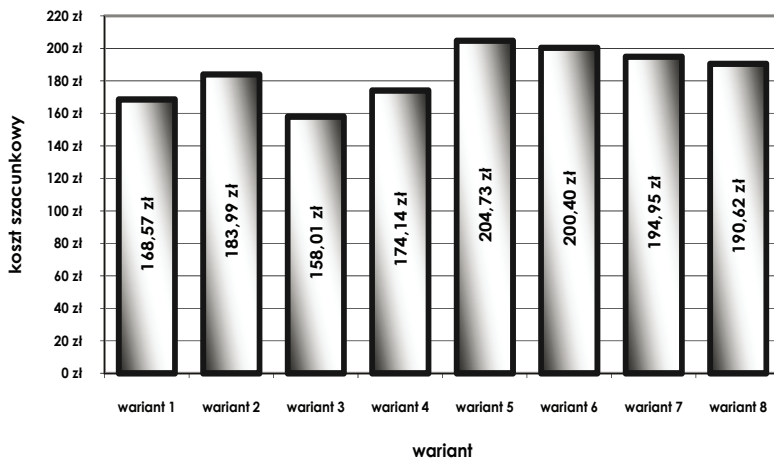


Rys. 4. Obiekty elementarne przykładowego projektowanego elementu



Rys. 5. Zbiór wariantów i fazy tworzenia postaci konstrukcyjnej przykładowego elementu

Ostateczne koszty szacunkowe poszczególnych wariantów wykonania różnych postaci konstrukcyjnych przykładowego elementu przedstawiono na rys.6.



Rys. 6. Szacunkowe koszty własne wytworzenia dla wszystkich wariantów wytwarzania elementu (po fazie 5B)

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

- Zaproponowane w pracy metody pozwalają określić koszty własne projektowanych elementów maszyn na podstawie zbioru informacji ustalonych zgodnie z zaproponowanym sposobem opisu tych elementów, dokonywanego w trakcie tworzenia zapisu konstrukcji.
- Zastosowanie zapisu konstrukcji w oparciu o sparametryzowane konstrukcyjne obiekty elementarne przyspiesza proces tworzenia tego zapisu, oraz umożliwia automatycznie dokonać zapisu informacji w postaci zbioru cech opisujących projektowane elementy oraz zbiorów wartości parametrów opisujących cechy elementu wymaganych na dalszych etapach projektowania.
- Na etapie projektowania procesów produkcyjnych najlepsze wyniki daje szacowanie kosztów na podstawie hybrydowego zbioru wartości czynników kosztotwórczych.
- Koniecznym jest poszerzenie proponowanych metod o analizę kosztów działań związanych z montażem, co pozwoliłoby na szacowanie kosztów nie tylko elementów maszyn, ale również szacowanie kosztów podzespołów, zespołów i całych wyrobów.

BIBLIOGRAFIA

1. Brinke E.: Costing support and cost control in manufacturing. PhD. Thesis, University of Twente, Enschede, 2002.
2. Brzeziński M.: Organizacja i sterowanie produkcją. Agencja Wydawnicza Płacet, Warszawa 2002.
3. Chang T.C.: Expert Process Planning for Manufacturing. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., New York 1990.
4. Chen Y.M., Wei C. L.: Computer-aided Feature-based Design for Net Shape Manufacturing. Computer Integrated Manufacturing Systems Vol. 10, No. 2 Elsevier Science Ltd. 1997, s. 147–164.
5. Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT, Warszawa 1985.
6. Feld M.: Projektowanie procesów technologicznych typowych części maszyn. PWN, Warszawa 2000.
7. Harmon P., King D.: Expert Systems. New York, John Wiley & Sons Inc. 1985.
8. Knosala R. i zespół: Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. WNT, Warszawa 2002.
9. Logar B., Peklenik J.: Feature-Based Part Database Design and Automatic Forming of Part Families for GT. Annals of the CIRP, Vol. 40/1/1991, s. 153–156.
10. Matuszek J.: Inżynieria Produkcji. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2000.
11. Mulawka J.J.: Systemy ekspertowe. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1996.
12. Tarnowski W.: Podstawy projektowania technicznego. Wydawnictwo Naukowo Techniczne. Warszawa 1997.
13. Turban E.: Expert System and Applied Artificial intelligence. Maxwell-Mcmillan, New York 1992.