

# METODA WIELOKRYTERIALNEGO WSPOMAGANIA DECYZJI DO SZACOWANIA STANU ZUŻYCIA NARZĘDZIA

Piotr WITTBRODT, Iwona ŁAPUŃKA

**Streszczeni:** W artykule przedstawiono próbę zastosowania narzędzia podejmowania decyzji do oceny stanu narzędzia skrawającego. Wykorzystano metodę Analytic Hierarchy Process (AHP). Ocenianym narzędziem skrawającym był frez walcowo-czołowy, który poddany był zużyciu podczas obróbki skrawaniem przy stałych warunkach skrawania dla parametrów technologicznych i geometrycznych. Oszacowano poziom korelacji obserwowanych podczas badania wartości stanu zużycia narzędzia z danymi uzyskanymi metodą AHP.

**Słowa kluczowe:** metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji AHP, narzędzie skrawające

## 1 Wprowadzenie

Niezawodność systemów produkcyjnych jest ważnym zagadnieniem. Bezpieczne i efektywne wykorzystanie systemu produkcyjnego w przedsiębiorstwie podnosi jego poziom elastyczności i produktywność.

Zwiększenie poziomu niezawodności procesów produkcyjnych wiąże się ze zwiększeniem trwałości poszczególnych jego elementów. W procesach produkcyjnych, zwłaszcza w procesach obróbki skrawaniem, kluczowym obszarem niezawodności jest narzędzie skrawające, szczególnie jego podatność na zużycie. To od jego zdolności skrawnych zależy stabilność realizowanego procesu, jakość i dokładność wymiarowa wyrobu, bezpieczeństwo pracownika czy też stan techniczny obrabiarki.

Trwałość i zużycie narzędzia skrawającego, zależy od parametrów technologicznych obróbki, parametrów geometrycznych narzędzia, rodzaju materiału obrabianego, sposób chłodzenia, technologii skrawania itd. Ponieważ, wymienione czynniki w różnym sposób i w różnym stopniu oddziałują na procesy trwałości narzędzia (szczególnie w obróbce szybkościowej na obrabiarkach 5-axis), do chwili obecnej nie została opracowana jedna, spójna i skuteczna koncepcja estymacji cech stanu zużycia narzędzia skrawającego.

W pracy dokonano próby wykorzystania możliwości aplikacyjnych metody AHP do oceny stanu zużycia narzędzi skrawających podczas procesu frezowania.

## 2 Trwałość i zużycie frezu palcowo-czołowego

Ocena narzędzia skrawającego ma duże znaczenie na stabilność realizowanego procesu produkcyjnego. Z realizacją zadań obróbki, narzędzie skrawające stopniowo się zużywa. Im większe obciążenia i intensywność skrawania, tym zużycie jest intensywniejsze. W celu podjęcia decyzji o wymianie narzędzia, należy znać jego stan zużycia jeszcze w trakcie obróbki.

Identyfikację stanu narzędzia skrawającego, można przeprowadzić dwoma sposobami:

- metodą bezpośrednią – która polega na ocenie wskaźników związanych ze zmianą cech geometrycznych ostrza narzędzia lub zmianie w wymiarach przedmiotu obrabianego, np. pomiar metodą optyczną, dotykową lub indukcyjną,
- metodą pośrednią – do oceny stanu narzędzia wykorzystuje się pomiar wielkości fizycznych siły skrawania (statyczna i dynamiczna), emisję akustyczną, temperaturę skrawania czy drgania.

Obecnie, najczęściej wykorzystywaną metodą do oceny stanu narzędzia skrawającego jest metoda pośrednia, ze względu na łatwość implementacji stanowiska badawczego w obrabiarkach oraz stosunkowo niewielki koszt związany z samym pomiarem.

Niezależnie od metod estymacji cech zużycia narzędzia skrawającego, w dalszym ciągu pozostaje kwestia decyzji o kontynuacji lub przerwaniu procesu skrawania.

### 3. Wielokryterialne metody wspomaganie decyzji

Analiza wielokryterialna jest metodą matematyczną i stosowaną przy wspomaganie procesu decyzyjnego (proces podjęcia decyzji), gdy wybór najkorzystniejszego rozwiązania następuje między wieloma wariantami lub strategiami. Wybór najlepszego rozwiązania poprzedzony jest doбором odpowiednich kryteriów oceny (wskaźników lub ich zbioru) oceniających poszczególne warianty. Kryteria oceny powinny uwzględniać różne aspekty ocenianego wariantu. Do stosowanych kryteriów oceny można zaliczyć: czas, koszty, możliwość realizacji zadania, niezawodność układu i wiele innych wskaźników, specyficznych dla analizowanego przypadku [1].

Metodyka postępowania przy rozwiązywaniu wielokryterialnych problemów decyzyjnych, składa się z czterech podstawowych faz:

- określenia problemu decyzyjnego,
- opisu i modelowania preferencji decydenta,
- porównania wielokryterialnych ocen (lub preferencji),
- wyboru rozwiązania.

Ostatecznie, rozwiązanie wielokryterialnego problemu decyzyjnego to kompromis pomiędzy różnymi celami lub kryteriami. Spośród wielu metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji, najczęściej spotykamy metody [2, 3]:

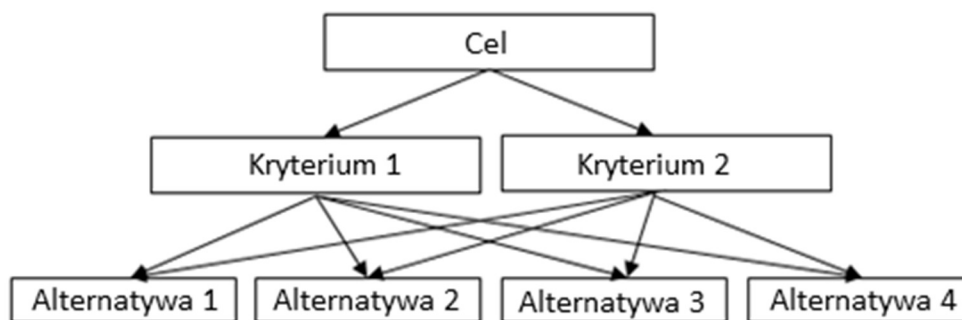
- addytywne (metoda SAW (ang. Simple Additive Weighting Method)), w której tworzy się ranking badanych obiektów (rozwiązań) w postaci macierzy znormalizowanych ocen, a następnie wybiera wariant, dla którego uzyskano najwyższą ocenę,
- analitycznej hierarchizacji: metoda AHP (ang. Analytical Hierarchy Process) i ANP (ang. Analytic Network Process),
- werbalne VDA (ang. Verbal Decision Analysis), które wykorzystywane są do analizy problemów swobodnych, w których problemy decyzyjne są luźno sformułowanymi problemami,
- PROMETHEE (ang. Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations) oparte są na zasadach koncepcji ograniczonej racjonalności i relacji przewyższania,
- wykorzystujące punkty referencyjne TOPSIS (ang. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), która polega na porównaniu wektora wartości kryteriów decyzyjnych dla danego obiektu z wektorami rozwiązania idealnego oraz negatywnie idealnego [4],

- interaktywne, w których decydent potrafi ocenić pojedynczy wariant lub niewielki ich podzbiór w formie dialogu. Podczas dialogu decydent określa wartości parametrów wynikające z wyboru proponowanych wariantów decyzyjnych [5].

### 3.1. Analytic Hierarchy Process (AHP)

Analytic Hierarchy Process (AHP) jest często używanym narzędziem decyzyjnym. Wykorzystując metodę AHP, można rozwiązać problem w sposób hierarchiczny, gdzie decyzji jest oparta na podstawie wielu kryteriów [6, 7].

Metoda AHP bazuje na koncepcji hierarchii celów oraz tworzeniu porównań dwójkowych pomiędzy celami tego samego poziomu (wyznaczania rankingów analizowanych rozwiązań). Konstrukcja diagramu hierarchii ściśle zależy od typu badanego problemu i odwzorowuje hierarchię celów tego problemu. Poziom pierwszy zawiera tylko jeden element, problem decyzyjny. Na poziom drugi składają się elementy-kryteria decyzyjne, a poziom trzeci zawiera cechy badanego obiektu. Typową, hierarchiczną strukturę metody AHP przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 Typowa struktura metody AHP

Podczas rozwiązywania problemu, ocena rozwiązania dokonywana przez decydenta ma charakter niejednoznaczny, tzn. zależy od podejścia, cech osobistych, pełnionej funkcji itd. Wynikiem takiego podejścia jest wieloaspektowe ujęcie problemu decyzyjnego. Decyzji w metodzie AHP poprzedzona jest czterema etapami:

- hierarchizacji problemu – opis problemu, określenie celu i oczekiwań w stosunku do niego,
- ocena kryteriów przez porównanie parami – na podstawie dziewięcio stopniowej skali dominacji (tabela 1), decydent dokonuje porównania ze sobą parami w stosunku do kryteriów, a kryteria w stosunku do celu,
- wyznaczenie preferencji w odniesieniu do priorytetów kryteriów i wariantów decyzyjnych,
- analiza wyników – wybór najlepszego wariantu, klasyfikacja wariantów decyzyjnych według postawionego celu.

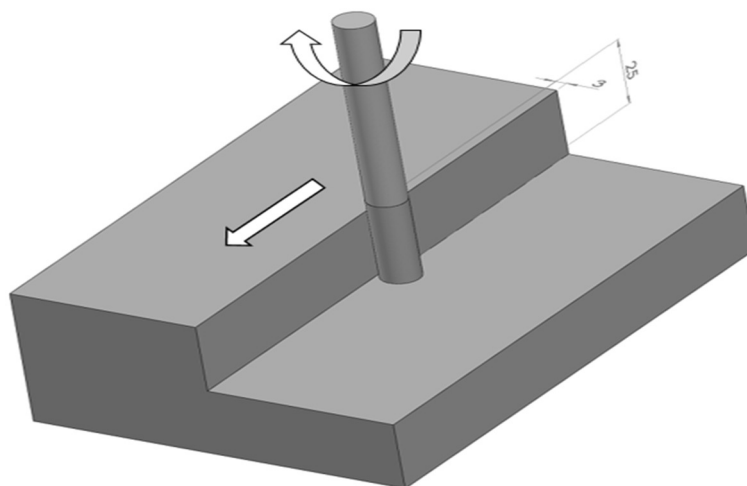
Tab. 1. Tabela klasyfikacji porównawczej AHP

Wartość	Znaczenie
1	równe
3	nieznacznie większe
5	większe
7	znacznie większe
9	skrajnie większe
2-8	wartości pośrednie

Wynik, który uzyska najwyższą wartość rankingową, uważa się za rozwiązanie problemu decyzyjnego.

#### 4. Obiekt badań i metodyka oceny

Obiektem badań eksploatacyjnych był czterostrzowy, pełnowęglkowy frez palcowy walcowo-czołowy o średnicy  $\varnothing 10h10$ . Część robocza frezu, była pokryta warstwą azotku tytanu (TiN). Badania prowadzone były na trzyosiowej frezarce sterowanej numerycznie. Program sterowania obrabiarką był generowany za pomocą programu CAM. Obróbka skrawaniem była realizowana przy stałych parametrach technologiczno-geometrycznych, natomiast materiałem obrabianym była stal 55NiCrMoV7 (wg EN 96-79) w stanie ulepszanym cieplnie do twardości  $42 \pm 2$  HRC. Schemat frezowania przedstawiono na rysunku 2. Pomiary i ocena stanu narzędzia, dokonywane były bezstykowo na mikroskopie uzbrojonym w głowicę mikrometryczną o dokładności 0.001 mm.



Rys. 2. Schemat obróbki frezowaniem

## 5. Wyniki badań

W wyniku przeprowadzonych badań, otrzymano szereg wartości liczbowych odchyleń od wartości nominalnej średnicy freza. Wartości odchyleń dla jednego ostrza przedstawiono w tabeli 2. Wyniki pomiaru świadczą o nierównomiernym zużywaniu się ostrza.

Tab. 2. Wyniki pomiarów średnicy freza wybranego ostrza (w [mm])

	<b>Odległość pomiarowa od czoła freza</b>	<b>Numer ostrza freza</b>
<b>Przekroje wymiarowe</b>		<b>1</b>
	<b>0</b>	-0,110
	<b>5</b>	-0,067
	<b>10</b>	-0,041
	<b>15</b>	-0,037
	<b>20</b>	-0,026
	<b>25</b>	-0,014

Obliczone na ich podstawie wartości wskaźników zużycia podano w tabeli 3.

Tab. 3. Wartości wskaźników zużycia frezów wybranego ostrza (w [mm])

	<b>Numer ostrza freza</b>	
<b>Wskaźniki zużycia</b>		<b>1</b>
	<b>VB</b>	0,736
	<b>KT</b>	0,274
	<b>KF</b>	0
	<b>KB</b>	0,923

Wartość zerowa wskaźnika KF ostrza pierwszego narzędzia, spowodowana jest wykruszeniem naroża.

Podczas badań również rejestrowano sygnał wibroakustyczny, w celu określenia wartości amplitud zużycia ostrza. Korelacja sygnał wibroakustyczny – wartość amplitudy zużycia ostrza dokonywana była metodą bezpośrednią przez eksperta. W wyniku tak przeprowadzonej oceny, otrzymano szereg przebiegów częstotliwościowo-czasowych, których analiza pozwoliła wyodrębnić trzy amplitudy, które można uznać za wartości odpowiadające za stan zużycia ostrza freza. Są to:

- $\leq 0,1$  – ostrze sprawne (ostre),
- $0,1 \div 0,75$  - częściowo zużyte,
- $\geq 0,75$  – ostrze zużyte.

## 6. Estymacja stanu frezu metodą AHP

Korelacja wartości zużycia narzędzia z wartością amplitudy sygnału drganiowego stanowiła podstawę opracowania drzewa hierarchicznego problemu decyzyjnego w metodzie

AHP. Problemem decyzyjnym określono stan narzędzia skrawającego, czyli jego zdolność do dalszych operacji skrawania. Jako cel analizy w metodzie AHP uznano podjęcie decyzji o kontynuowaniu lub przerwaniu obróbki skrawaniem. Następnie, dokonano przypisania poszczególnych kryteriów, do których zaliczono wartość amplitudy sygnału wibroakustycznego, obliczone wskaźniki zużycia frezu, parametry technologiczno-geometryczne (w tym prędkość skrawania, posuw czy głębokość i szerokość skrawania). Na ostatni poziomie drzewa decyzyjnego, określono alternatywy badanego frezu, jako: frez ostry, częściowo zużyty i zużyty.

W wyniku przeprowadzonej analizy AHP otrzymano estymację zużycia poszczególnych ostrzy frezu z podziałem na odcinki pomiarowe. Otrzymane wartości, przedstawiono w tabeli 4. W tabeli 4 również przedstawiono porównanie do rzeczywistej oceny narzędzia.

Tab. 4. Porównanie wybranego stanu ostrzy narzędzia mierzonego bezpośrednio z szacowanym metodą AHP

Nr ostrza		Rzeczywisty stan ostrza narzędzia	Szacowany stan zużycia narzędzia metodą AHP
1	0	zużyty	zużyty
	5	zużyty	zużyty
	10	zużyty	częściowo zużyty
	15	częściowo zużyty	częściowo zużyty
	20	częściowo zużyty	częściowo zużyty
	25	ostry	częściowo zużyty

Estymacja metodą AHP wykazuje bliskie dopasowanie ze zmierzonymi wartościami zużycia.

## 7. Podsumowanie

W artykule zaprezentowano metodę oceny wielokryterialnej AHP dla celów estymacji cech stanu ostrzy frezu. W celu wykazania skuteczności tej metody w szacowaniu stanu narzędzia skrawającego, dokonano przedstawienia wstępnych wyników badań dla oceny jednego ostrza narzędzia skrawającego. Niewielkie różnice w ocenie stanu ostrzy wykazują, że metodą AHP ma potencjalne możliwości aplikacyjne.

W kontekście uzyskanych, pozytywnych wyników planowane są dalsze prace badawcze nad wykorzystaniem różnych wielokryterialnych metod do estymacji cech zużycia narzędzi.

## Literatura

1. Brechet T., Tulkens H.: Beyond BAT: Selecting optimal combinations of available techniques, with an example from the limestone industry. *Journal of Environmental Management*, 90, 2009.
2. Szłapczyńska J., Przegląd metod rozwiązywania wielokryterialnych problemów decyzyjnych – zastosowania w procesach nawigacyjnych, *Prace Wydziału Nawigacyjnego, Akademii Morskiej w Gdyni*, 2005.
3. Trzaskalik T.: Wielokryterialne wspomaganie decyzji metody i zastosowanie. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska*, 74, 2014.

4. Hwang C.-L., Yoon K.: Multiple Attribute Decision Making. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, No. 186, Springer 1981.
5. Nowak M.: Interaktywne wielokryterialne wspomaganie decyzji w warunkach ryzyka. Metody i zastosowania. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Katowicach, Katowice, 2008.
6. Saaty T.L., A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of Mathematical Psychology 15 (3), 1977.
7. Saaty T.: The analytic hierarchy process, McGraw–Hill, New York 1980.

Dr inż. Piotr WITTBRODT

Dr inż. Iwona ŁAPUŃKA

Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów

Politechnika Opolska

45 – 370 Opole, ul. Ozimska 75

tel.: (+48 77) 449 88 45

(+48 77) 449 88 50

e-mail: p.wittbrodt@po.opole.pl

i.lapunka@po.opole.pl