

LOGIKA ROZMYTA W SYSTEMIE WSPOMAGANIA DECYZJI W PROCESIE OBRÓBKI SKRAWANIEM

Piotr WITTBRODT

Streszczenie. W artykule przedstawiono problemy diagnostyki i monitorowania zużycia narzędzi skrawających. Omówiono również problematykę wspomagania decyzji dla systemów monitorująco-diagnostycznych przy wykorzystaniu elementów logiki rozmytej. Logikę rozmytą zastosowano w przypadkach, gdy analityczne wyprowadzenie funkcji niezawodności jest niemożliwe. Przedstawiono, oparty na logice rozmytej, proces decyzyjny w zakresie zdatności narzędzi skrawających do obróbki skrawaniem na przykładzie frezu kulistego.

Słowa kluczowe: eksploatacja, monitorowanie, prognozowanie, zużycie, narzędzie skrawające, logika rozmyta.

1. Wprowadzenie

Przestoje maszyn i urządzeń technicznych są skutkiem nieprzewidzianych awarii. Wczesne wykrycie i rozpoznanie zmian stanu dynamicznego elementów procesu produkcyjnego jest rzeczą ważną nie tylko ze względów na bezpieczeństwo eksploatacji, ale również na osiągnięty sukces ekonomiczny przez przedsiębiorstwa.

Konieczne staje się wobec tego jak najczęstsze rozpoznawanie zmian stanu dynamicznego maszyn, urządzeń technicznych oraz narzędzi, stopnia zaawansowania ich zużycia, rodzaju i poziomu uszkodzeń po to, aby w przyszłości zapobiec ich skutkom i wcześniej podjąć odpowiednie działania zapobiegawcze [1]. Obserwacja przez obsługę tylko w wyjątkowych sytuacjach daje takie możliwości. Realizację najwcześniejszego rozpoznania zmian stanu dynamicznego maszyn, urządzeń technicznych oraz narzędzi umożliwiają systemy monitorujące i diagnozujące ich stan, poprzez pomiar charakterystycznych parametrów (wielkości) diagnostycznych.

W zakładach produkcyjnych dąży się zatem do całkowitej kontroli każdego etapu produkcyjnego, co sprzyja wdrażaniu kompleksowego systemu monitorowania maszyn, urządzeń technicznych oraz narzędzi skrawających. Dzięki temu, należy się spodziewać produkcji przebiegającej w warunkach pełnej kontroli. Istnieją jednak przesłanki mówiące o małej skuteczności i problemach we wdrażaniu takich systemów monitorowania zainstalowanych bezpośrednio na obrabiarce w produkcji rzeczywistej, warsztatowej. Problem stanowią odpowiednie aplikacje informatyczne opisujące zjawiska towarzyszące procesom obróbczym. Problemem są również wysokie koszty zakupu i użytkowania, uniemożliwiające powszechne stosowanie systemów monitorująco-diagnostycznych [1]. Warto podkreślić, że dostępne na rynku systemy informatyczne są niewykorzystywane po upływie roku [2] a zadowolonych użytkowników jest zaledwie kilkanaście procent.

Z przeprowadzonych konsultacji z kilkunastoma firmami z branży metalowej z sektora małych i średnich przedsiębiorstw wynika, że to właśnie te cechy układów monitorowania są przeszkodą w ich wdrażaniu w warunkach przemysłowych. Potencjalni użytkownicy oczekują, więc prostych układów, których koszty wdrożenia, uruchomienia i użytkowania

będą niewielkie. Również ważnym aspektem dla odbiorcy jest brak konieczności ingerencji w budowę obrabiarki (utrata gwarancji i serwisu) i możliwość przenoszenia układu na inne urządzenia powodując przy tym ograniczenia elastyczności systemu wytwórczego.

Wymienione powyżej, wybrane oczekiwania potencjalnych użytkowników są zbieżne z cechami jednoczynnikowego układu monitorująco-diagnostycznego, którego wstępne założenia projektowe można znaleźć w publikacji [3].

2. Zużycie narzędzia skrawającego w zmiennych warunkach pracy

Szybki rozwój oraz zastosowanie systemów CAD do projektowania nowych konstrukcji i urządzeń, umożliwiło nadawania im złożonych kształtów przestrzennych 3D. W ślad za tym podążał rozwój współczesnych obrabiarek i narzędzi.

Obróbka powierzchni kształtowych, realizowana na obrabiarkach sterowanych w pięciu osiach, umożliwia realizację zdecydowanie bardziej złożonych ruchów względnych narzędzia i przedmiotu obrabianego. Narzędzia rotacyjne wykonują nie tylko ruchy translacyjne, ale również mogą zmieniać orientację osi obrotu narzędzia. Ostrza narzędzi do tego rodzaju obróbki (np. frezy kuliste) mają krzywoliniowe krawędzie skrawające. Frezy kuliste są jednym z najszerzej stosowanych narzędzi w procesie wykonywania matryc, form i powierzchni 3D. Dodatkowym utrudnieniem są złożone przestrzennie kształty powierzchni obrabianej w obrabianym przedmiocie. Wszystkie te czynniki powodują, że opis geometrii przekroju warstwy skrawanej jest bardzo złożony i trudniejsza jest formalizacja tego opisu. Geometria przekroju warstwy skrawanej zależna jest bowiem od kształtu ostrzy, chwilowego położenia narzędzia i kształtu obrabianej powierzchni.

Podczas frezowania kształtowego, proces skrawania każdym ostrzem jest cyklicznie przerywany, a przekrój poprzeczny warstwy skrawanej nie jest stały. Pomimo, że proces skrawania każdym ostrzem jest cyklicznie przerywany, to przez cały czas trwania procesu narzędzie nie traci kontaktu z materiałem obrabianym. Bezpieczeństwo eksploatacji oraz trwałość i niezawodność takiego narzędzia, realizującego proces frezowania wzniosłów, spadków i promieni jest bardzo trudny z powodu skomplikowanej charakteru tego procesu.

Duża liczba czynników wpływająca na zużycie powoduje, że nadal brakuje spójnej teorii przedstawiającej ogół zjawisk zachodzących w strefie kontaktu ostrza z materiałem obrabianym podczas procesu frezowania kształtowego. Dlatego, opis zależności pomiędzy geometrycznymi i fizykalnymi wskaźnikami zużycia jest rzeczą ważną.

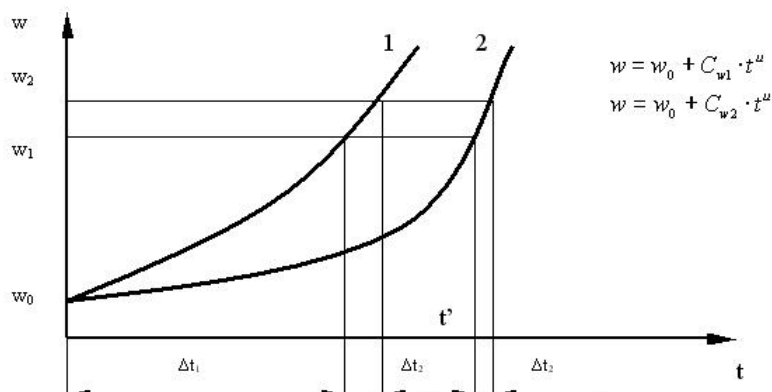
W ujęciu matematycznym, wartość zużycia ostrza po skrawaniu z n zmiennymi parametrami skrawania ma postać [2]:

$$w = w_0 + (w_k - w_0) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \Delta T_i \right)^u$$

gdzie: w – całkowita wartość zużycia;
 w_k – wartość wskaźnika stopnia;
 w_0 – wartość dotarcia;
 T – okres trwałości.

Predykcja zużycia ostrza, w szczególności pracującego z przemienne zmiennymi parametrami skrawania, jest więc zagadnieniem trudnym. Ostrze wykorzystywane jest

wtedy przez czas Δt_1 z określonymi parametrami skrawania, natomiast w okresie Δt_2 z innymi. Zależność ta przedstawiona jest na rysunku 1.



Rys. 1. Krzywe zużycia przy zmiennych parametrach skrawania
Źródło: opracowanie własne

Przewidywanie zużycia podczas obróbki kształtowej jest przypadkiem trudnym do analizy zużycia, gdyż frez kształtowy może pracować całą krawędzią lub tylko jej częścią zmieniając w trakcie pracy wielokrotnie parametry obróbcze technologiczne jak również geometryczne. Tak duża zmienność parametrów cechująca ten rodzaj obróbki powoduje, że pomimo kilku lat intensywnych badań ośrodków naukowych, nadal brakuje spójnej teorii przedstawiającej ogół zjawisk zachodzących w strefie kontaktu ostrza z materiałem obrabianym. W takim przypadku należy, więc zastosować system monitorujący, który na podstawie ekstrakcji cech otrzymanego ze strefy skrawania sygnału pozwoli określić stopień zużycia ostrza.

3. Aspekt ekonomiczny zastosowania systemów monitorująco-diagnostycznych stan narzędzia skrawającego

Czynniki ekonomiczne związane z projektowaniem procesów technologicznych, wymuszają maksymalne wykorzystanie potencjału produkcyjnego maszyn i urządzeń przy zachowaniu coraz bardziej wymagających parametrów jakościowych wyrobów. Następstwem tego są trudności podczas wytwarzania, co sprzyja zwiększeniu ryzyka awarii obrabiarek i narzędzi co przekłada się na zwiększenie kosztów: kosztów wyrobu oraz kosztów związanych z utrzymaniem i zarządzaniem produkcją.

W wielu publikacjach, szczególnie z dziedziny ekonomii obróbki, np. [4], przyjmuje się, że koszty narzędziowe w obróbce skrawaniem kształtują się w granicach od 2% do 5% ogólnych kosztów wytwarzania. W następstwie tego w wielu analizach pomija się wpływ kosztu narzędziowego na koszt wytworzenia, co powoduje błędne szacowanie ogólnych kosztów produkcji.

Analiza rynku narzędzi skrawających wykazuje, że koszt narzędzi to nawet kilkanaście procent ogólnych kosztów. Należy jednak mieć świadomość tego, że udział ten silnie uzależniony jest od rodzaju obróbki, wielkości partii obróbkowych a także od wiedzy i umiejętności operatora urządzeń skrawających i trudno jest dokładnie go oszacować.

Pomimo nieprecyzyjnych danych o udziale kosztów narzędziowych w ogólnych kosztach wytworzenia, można stwierdzić, że są one wysokie, a więc odpowiednia

gospodarka narzędziowa jest jednym ze sposobów obniżenia kosztów produkcji. Dlatego też, dąży się do doboru najbardziej racjonalnych warunków obróbki poprzez zastosowanie systemów monitorująco-diagnostycznych, umożliwiających utrzymanie narzędzi w dobrym stanie technicznym (np. wydłużenie okresu trwałości użytkowania). Istnieje jednak problem w ocenie bieżącego stopnia zużycia narzędzia, co stanowi barierę w podnoszeniu efektywności procesu obróbkowego.

4. Monitorowanie i diagnostyka procesu zużycia narzędzia skrawającego

Techniki monitorowania procesu zużycia narzędzia skrawającego można podzielić na dwie podstawowe kategorie, np. [5, 6]:

- metody bezpośrednie,
- metody pośrednie,

które okazywały się mniej lub bardziej efektywne.

Intensywny rozwój metod bezpośrednich identyfikacji ostrza przypada na lata 70 i początek 80 ubiegłego wieku. Metody te są oparte na ocenie wskaźników związanych ze zmianą cech geometrycznych ostrza narzędzia lub zmianie w wymiarach przedmiotu obrabianego. Do metod często spotykanych należy zaliczyć: metody optyczne, dotykowe czy indukcyjne. Metody bezpośrednie są jednak trudne w zastosowaniu z powodu niedostępności obszaru skrawania podczas obróbki, mało skuteczne, czasochłonne i obciążone dużym błędem pomiarowym. Z tych powodów są stosowane sporadycznie.

Większe zastosowanie w przemyśle mają metody pośrednie. Metody te są oparte na monitorowaniu zmiennych za pośrednictwem sygnału, gdzie na podstawie analizy może zostać określony (prognozowany) stopień zużycia narzędzia. W metodach pośrednich uzyskujemy miarę sygnału wtedy, gdy narzędzie pracuje. Metody pośrednie opierają się, więc na pomiarach skutków zużycia, a nie samego zużycia. Cechuje je prostsza technicznie estymacja cech zużycia, niż w przypadku metod bezpośrednich, ale wyniki są obciążone niepewnością wynikającą z nie do końca rozpoznanych zjawisk zachodzących w strefie narzędzia z przedmiotem skrawania. Do oceny zużycia ostrza metodą pośrednią najczęściej wykorzystywany jest pomiar takich wielkości fizycznych jak: siły skrawania (statyczna i dynamiczna), emisja akustyczna (50 – 400 kHz), temperatura skrawania lub wynikająca z niej siła termoelektryczna, drgania (1 – 10 kHz), odkształcenia plastyczne narzędzia czy moc skrawania.

Metody pośrednie wymagają dwustopniowych działań: pomiaru określonej wielkości fizycznej i opracowania odpowiedniej zależności pozwalającej na wnioskowanie o stanie narzędzia na podstawie dokonanego pomiaru. Wiele systemów monitorowania metodami pośrednimi jest opartych na stałej strategii określania progu, gdzie wybrane cechy zmierzonego sygnału są ciągle porównane z wstępnie wyznaczonym progiem zużycia (jako poziom zużycia lub złamania narzędzia). Stały próg określony jest dla pewnego zbioru warunków skrawania. Wymaga to rozwoju i przechowywania kompletu składowych wartości progu dla wielu parametrów każdego z warunków procesu i każdego rodzaju narzędzia. W dodatku, zużycie musi zostać określone wstępnie, doświadczalnie, aby w procesie rzeczywistym poprawnie wyznaczony poziom skutecznie zapobiegał złamaniu lub zużyciu narzędzia.

Wykorzystywany w tych układach system identyfikujący przyczynę zużycia, pozwala tylko na przypisanie jednego z dwóch stanów: „zdolny” lub „niezdolny” do wykorzystania w dalszym procesie produkcyjnym. Przypisanie do jednego z dwu stanów odbywa się na

podstawie spełnienia lub nie kryterium zgodności wybranych parametrów z ich wzorcowym zakresem określonym przez konstruktora lub technologa.

W przypadku diagnostyki procesów zużycia eksploatacyjnego (naturalnego) należy rozważyć kryterium przypisania do narzędzia cechy niejednoznacznych. W takim przypadku podjęcie decyzji o zakwalifikowaniu stanu narzędzia do cech „zdolny” lub „niezdolny” odbywa się w sposób przybliżony. Do rozwiązania problemu oceny stanu narzędzia w sposób przybliżony stosuje się modele wykorzystujące elementy sztucznej inteligencji, np. modelu sieci neuronowej lub modelu rozmytego.

Zagadnienia diagnozowania obiektu z wykorzystaniem sieci neuronowych należy rozpatrywać w dwóch aspektach: jako sieci neuronowe statyczne i sieci neuronowe dynamiczne. Znacznie większe, bo praktyczne zastosowanie mają dynamiczne sieci neuronowe LDDN (ang. Layer Digital Dynamic Network). Jednakże, w przeciwieństwie do statycznych sieci neuronowych są trudniejsze do nauczenia (uczone przez ciągi uczące pozyskane jako ciągi czasowe). Przykładem dynamicznej sieci neuronowej, jest sieć rekurencyjna ze sprzężeniami zwrotnymi wielu warstw o strukturze NARX (ang. nonlinear autoregressive network with exogenous inputs). Istota działania sieci polega na tym, że następna wartość sygnału wyjściowego jest obliczana na podstawie poprzedniej wartości sygnału diagnostycznego i poprzedniej wartości sygnału wejściowego.

Mimo wielu zalet, sieci neuronowe są wspomagane przez inną metodę analizy stanów przybliżonych, a mianowicie metodę z wykorzystaniem modelu rozmytego. Zgromadzona wiedza w modelu rozmytym jest wiedzą eksperta, który stosuje reguły typu jeśli..... to zawierające określenia lingwistyczne typu wysokie, średnie, niskie. Stosując w strukturze modelu, np. rozmyte sieci neuronowe, można wyznaczyć residuum i wnioskować o stanie diagnozowanego obiektu. Używanym wielkościom lingwistycznym można przypisać zmienne numeryczne, stanowiące argumenty funkcji opisujących diagnozowany obiekt. Przypisanie zmiennych umożliwia utworzenie reguł określających zasady uczenia i testowania tych sieci. Podstawową formą budowy reguł wnioskowania jest:

jeżeli warunek logiczny to konkluzja

Elementy logiki rozmytej są rozwiązaniem na problemy z techniką reprezentacji wiedzy technologicznej o w sposób przybliżony. Podstawą do opracowania reprezentacji wiedzy w logice rozmytej są reguły wnioskowania, które dotyczą prognozowania stanu ostrza narzędzia. Analiza przesłanek reguł decyduje o następującym podziale reguł wnioskowania stosowanych w systemie:

- reguły dokładne („zdolny” lub „niezdolny”) – budowane dla przedziałów wielkości sygnałów, w których można dokładnie określić stan ostrza, co prowadzi do podjęcia jednoznacznej decyzji,
- reguły przybliżone (stany pośrednie, „częściowo zdolny”) – budowane dla obszarów niejednoznaczności wyboru, tzn. w których nie można jednoznacznie stwierdzić, w jakim stanie znajduje się ostrze narzędzia skrawającego. W takim przypadku występuje więcej wariantów możliwych do wyboru.

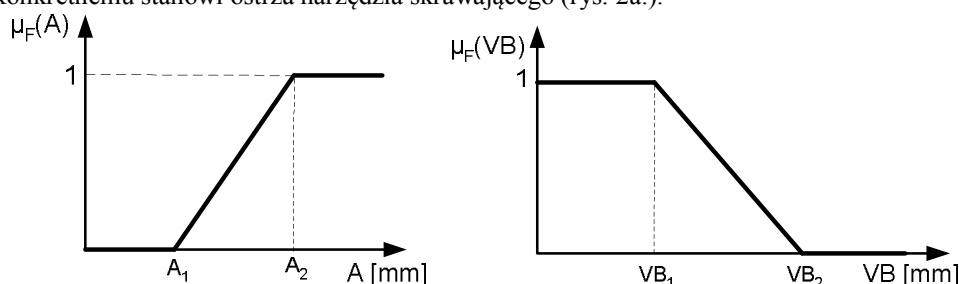
Opracowując system diagnostyczny z wykorzystaniem modelu rozmytego, na wstępnym etapie kwalifikacji wykorzystuje się informację zawartą w formie lingwistycznej (operacja fuzyfikacji – rozmywanie danych), a następnie precyzuje przez dane doświadczalne pochodzące z urządzeń pomiarowych obiektu (operacja defuzyfikacji – wyostrzenie).

Wypracowanie prawidłowych jak również skutecznych zasad podejmowania decyzji, opartych o wnioskowanie diagnostyczne, powinno uwzględniać kryteria ekonomii wytwarzania i minimalizować ryzyko przerw w produkcji.

5. Zastosowanie logiki rozmytej w opracowaniu reprezentacji wiedzy dla systemu wspomagającego procesy obróbki

W celu umożliwienia sprawnego działania systemu monitorująco-diagnostycznego w warunkach przybliżonych pomocne okazuje się zastosowanie elementów logiki rozmytej w budowie reprezentacji wiedzy. Zbiory rozmyte w budowie reprezentacji wiedzy umożliwiają wyrażenie niepewności wiedzy za pomocą funkcji przynależności [7]. W prezentowanym przykładzie wykorzystano do interpretacji stanu ostrza narzędzia skrawającego oraz opracowania zbioru rozmytego sygnał wibroakustyczny otrzymany podczas badań procesu obróbki frezowaniem powierzchni kształtowych 3D [8].

Otrzymane szeregi przebiegów sygnału wibroakustycznego poddano procesowi fuzyfikacji. Wybrany parametrem mający decydujący wpływ na stan ostrza okazała się amplituda sygnału wibroakustycznego. Opracowany został zbiór rozmyty F za pomocą funkcji przynależności $\mu_F(A)$, który przedstawia wartość amplitudy sygnału odpowiadającą konkretnemu stanowi ostrza narzędzia skrawającego (rys. 2a.).



Rys. 2. Wykres funkcji przynależności dla zbioru rozmytego opisującego: a) stan ostrza narzędzia, b) stan powierzchni obrabianej

Źródło: opracowanie własne

Przebieg funkcji przynależności określa przedziały liczbowe charakteryzujące przynależność amplitudy sygnału, do zbioru rozmytego. Na rysunku 2a widać, że występuje przedział liczbowy $\langle 0; A_1 \rangle$, w którym wartość funkcji $\mu_F(A)$ wynosi 0. Można wtedy z całą pewnością wnioskować, że stan ostrza jest prawidłowy i praca narzędzia może być dalej prowadzona. Z drugiej strony występuje też przedział liczbowy $\langle A_2; +\infty \rangle$, w którym wartość funkcji $\mu_F(A)$ wynosi 1. Oznacza to zupełne uszkodzenie narzędzia w stopniu uniemożliwiającym dalszą pracę. Natomiast w przedziale $(A_1; A_2)$ funkcja $\mu_F(A)$ przybiera wartości z przedziału $(0; 1)$ co oznacza częściową przynależność amplitudy do zbioru. Nie można wtedy jednoznacznie wnioskować o stanie ostrza narzędzia skrawającego. Można jedynie stwierdzić, że w miarę jak wartość amplitudy będzie się zbliżała do wartości A_2 , to wtedy zachodzi większe prawdopodobieństwo uszkodzenia narzędzia.

W celu opracowania reguł przybliżonych należy przyjąć stwierdzenie orzekające o możliwości i pewności wyboru rozwiązania problemu związanego z oceną stanu ostrza narzędzia skrawającego. Ustalono, że stwierdzenie to może bazować na porównaniu otrzymanych w wyniku badań przebiegów sygnału wibroakustycznego pracy narzędzia z przebiegiem wzorcowym.

Dla wykonanych badań, zostały sformułowane następujące przykładowe reguły dokładne i przybliżone:

- R1: JEŻELI amplituda sygnału jest mniejsza lub równa 0,1 [mm] TO ostrze jest prawidłowe i można kontynuować proces skrawania
- R2: JEŻELI amplituda sygnału jest równa lub większa od 0,75 [mm] TO ostrze jest uszkodzone i należy przerwać proces skrawania
- R3: JEŻELI amplituda sygnału jest większa od 0,1 [mm] i mniejsza od 0,75 [mm] i przebieg sygnału jest prawie podobny do sygnału wzorcowego TO ostrze jest prawidłowe i można kontynuować proces skrawania
- R4: JEŻELI amplituda sygnału jest większa od 0,1 [mm] i mniejsza od 0,75 [mm] i przebieg sygnału nie jest raczej podobny do sygnału wzorcowego TO ostrze jest uszkodzone i należy przerwać proces skrawania

Przedstawione reguły wnioskowania stanowią reprezentację wiedzy dla budowy systemu wspomagającego podejmowanie decyzji w procesach monitorowania stanu ostrza narzędzia skrawającego.

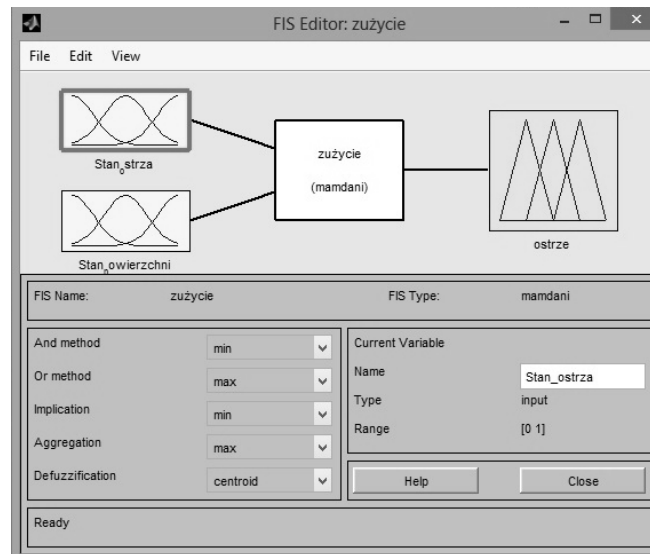
Opracowano również, dla celów systemu diagnostycznego, zbiory rozmyte dla procesu zużycia ostrza narzędzia skrawającego. W tym celu wykorzystano zależność pomiędzy jakością powierzchni materiału po obróbce (parametr chropowatości R_a), a wartością starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB . W miarę wzrostu wielkości VB rośnie chropowatość powierzchni, jednak istotne jest ustalenie momentu, kiedy należy przerwać proces skrawania ze względu na przekroczenie dopuszczalnej wartości R_a .

Obserwując zmiany chropowatości powierzchni R_a oraz wielkości starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB , otrzymano przedziały wartości VB w których można jednoznacznie stwierdzić, czy należy kontynuować lub przerwać proces skrawania. Opracowano również zbiór rozmyty F zdefiniowany przez funkcję przynależności $\mu_F(VB)$, której przebieg pokazano na rysunku 2b.

Z przedziału liczbowego $\langle 0; VB_1 \rangle$, w którym wartość funkcji $\mu_F(VB)$ wynosi 1 można wnioskować z całą pewnością, że chropowatość powierzchni jest prawidłowa i proces skrawania może być dalej prowadzony. Z kolei w przedziale liczbowym $\langle VB_2; +\infty \rangle$, w którym wartość funkcji $\mu_F(VB)$ wynosi 0, wartość parametru chropowatość powierzchni przyłożenia narzędzia nie jest do przyjęcia i należy bezzwłocznie przerwać proces skrawania. Analizując przebieg funkcji przynależności można zauważyć, że w przedziale $(VB_1; VB_2)$ funkcja $\mu_F(VB)$ przybiera wartości z przedziału $(0; 1)$ co oznacza częściową przynależność elementu do zbioru. Nie można wtedy jednoznacznie wnioskować o stanie powierzchni obrabianej i procesie skrawania. Na tej podstawie zostały sformułowane następujące przykłady reguł dokładnych i przybliżonych:

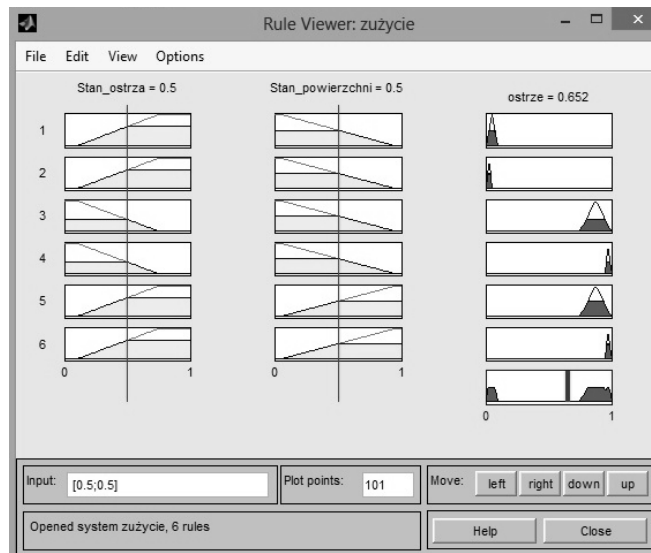
- R1: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest mniejsza lub równa 0,05 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej jest prawidłowa i można kontynuować proces skrawania
- R2: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest równa lub większa od 0,95 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej nie jest prawidłowa i należy przerwać proces skrawania
- R3: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest większa od 0,05 [mm] i mniejsza od 0,95 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej jest prawidłowa i można kontynuować proces skrawania
- R4: JEŻELI wartość starcia powierzchni przyłożenia narzędzia VB jest większa od 0,05 [mm] i mniejsza od 0,95 [mm] TO chropowatość powierzchni obrabianej jest uszkodzona i należy przerwać proces skrawania

Na podstawie tak określonych reguł wnioskowania podjęto próbę implementacji w środowisku Matlab w pakiecie Fuzzy Logic Toolbox (rys. 3).

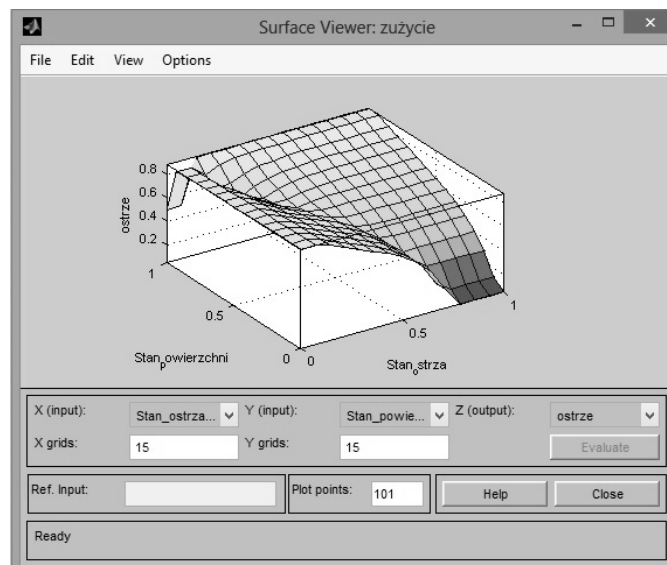


Rys. 3. System logiki rozmytej dla przykładu zużycie.fis
 Źródło: opracowanie własne

Wynik wnioskowania dla każdej z reguł i końcowy przebieg wyostrzania przedstawiono na rysunku 4. Rysunek 5 przedstawia trójwymiarowy wykres wpływu poszczególnych wejść (stan ostrza i stan powierzchni narzędzia skrawającego) na rezultat wnioskowania.



Rys. 4. Zasady wnioskowania
 Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Graficzna reprezentacja wnioskowania
Źródło: opracowanie własne

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono przykład implementacji logiki rozmytej dla techniki wspomaganie decyzji o stanie narzędzia skrawającego. Jej zastosowanie zilustrowano w studium przypadku. Wyniki analizy pozwalają stwierdzić, że reguły wnioskowania stanowią reprezentację wiedzy o stanie zużycia ostrza narzędzia skrawającego i mogą być z powodzeniem stosowane w opracowaniu reprezentacji wiedzy dla systemu wspomagającego procesy obróbki skrawaniem.

Potencjalne możliwości aplikacyjne tej techniki w systemach prognozujących zostaną wykorzystane w budowanym systemie wspomaganie decyzji, decyzji podjęcia działań zezwalających na dalszą realizację procesu obróbkowego lub jego zakończenie.

Literatura:

1. Lipski J., Diagnostyka procesów wytwarzania, Monografie – Politechnika Lubelska 2013,
2. Jemielniak K.: Automatyczna diagnostyka stanu narzędzia i procesu skrawaniem, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002,
3. Wittbrodt P.: Nadzorowanie i prognozowanie stanu narzędzi skrawających w procesie skrawania. [w:] Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji, pod redakcją Ryszarda Knosali, Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, Opole 2014,
4. Cichosz P. , Kuzinowski M. Ekonomiczne aspekty doboru narzędzi skrawających do zadania produkcyjnego W: Obróbka skrawaniem. T.1. Wysoka produktywność, P. Cichosz (red.) Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2007,

5. Kwon Y., Fischer G. W., A novel approach to quantifying tool wear and tool life measurements for optimal tool management, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, Volume: 43, pp. 359 – 368, 2003,
6. Matsumura T., Usui E., Self – adaptive tool wear monitoring system in milling process, *Transactions of NAMRI/SME* 29, 284 – 292, 2001,
7. Rutkowski L., *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005,
8. Wittbrodt P.: Life and Wear of Monolithic Carbide Mills. *Eksploatacja i Niezawodność* Nr 3/2005,

Dr inż. Piotr WITTBRODT
Instytut Innowacyjności Procesów i Produktów
Politechnika Opolska
45 – 370 Opole, ul. Ozimska 75
tel./fax.: (0 – 77) 449 88 45
e-mail: p.wittbrodt@po.opole.pl