

**Dariusz LIPIŃSKI, Maciej MAJEWSKI**  
POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ MECHANICZNY,  
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin

## Interaktywne hybrydowe systemy monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki

Dr inż. Dariusz LIPIŃSKI

W latach 1999 – 2005 asystent, a od roku 2005 adiunkt w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się zastosowaniem metod sztucznej inteligencji do modelowania, optymalizacji i oceny jakości procesów obróbki.



e-mail: [dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl](mailto:dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl)

Dr hab. inż. Maciej MAJEWSKI

Profesor nadzwyczajny Katedry Mechaniki Precyzyjnej. Specjalność naukowa: budowa inteligentnych systemów interakcji. Stopnie doktora n.t. oraz doktora habilitowanego n.t. uzyskał z wyróżnieniami. Współautor 67 publikacji naukowych, w tym 45 zagranicznych. Pracował w Komisji Europejskiej w Brukseli i Luksemburgu oraz współpracował w formie pobytu w Uniwersytecie w Louisville, Uniwersytecie w Walencji i innych przez łączny okres 3 lat.



e-mail: [maciej.majewski@tu.koszalin.pl](mailto:maciej.majewski@tu.koszalin.pl)

### Streszczenie

Artykuł prezentuje opracowaną koncepcję interaktywnych hybrydowych systemów monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki. Inteligentny system zdalnego monitorowania i optymalizacji jakości procesów, wyposażony w interfejs wizualny i głosowy, przedstawiono w przykładowym zastosowaniu w procesach precyzyjnego szlifowania. Opracowana koncepcja proponuje architekturę systemu wyposażoną w warstwę analizy danych, warstwę nadzorowania procesu, warstwę decyzyjną, podsystem komunikacji głosowej w języku naturalnym oraz podsystem komunikacji wizualnej z opisem głosowym.

**Słowa kluczowe:** monitorowanie i optymalizacja procesów mikro- i nanoobróbki, inteligentne systemy, interakcja, sztuczna inteligencja.

## Interactive hybrid systems for monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes

### Abstract

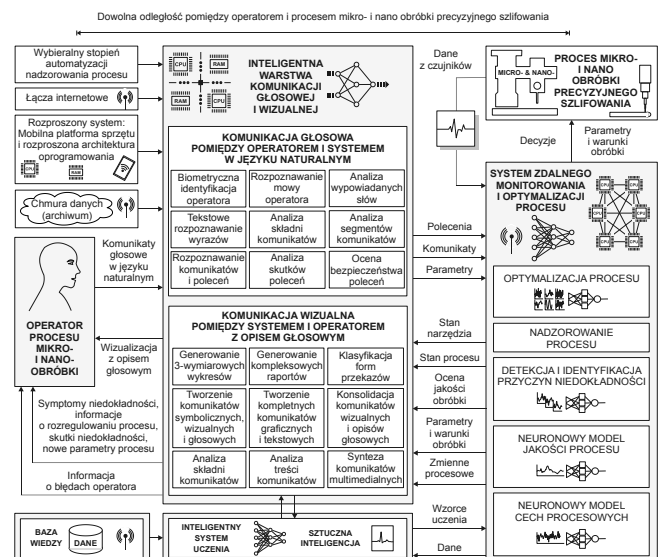
The paper presents a concept of interactive hybrid systems for monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes. The intelligent system for monitoring and optimization of the process quality, equipped with a visual and speech interface, is presented in an exemplary application to precision grinding processes. The developed concept proposes an architecture of the system equipped with a data analysis layer, a process supervision layer, a decision layer, a communication subsystem by speech and natural language, and a visual communication subsystem using vocal descriptions. In the proposed system, computational intelligence methods allow for real-time data analysis of the monitored process, configuration of the system, process supervision based on process features and quality models. The system is also capable of detection of inaccuracies, estimation of inaccuracies results, compensation of inaccuracies results, and selection of machining parameters and conditions. The paper describes the concept of voice and visual communication (Fig. 1), and the complete structure of the system (Fig. 2). The interactive system using mobile technologies is shown in Fig. 3, while the system using neural models is presented in Fig. 4. Also the block diagrams of command meaning analysis methods (Figs. 5 and 6), and the probabilistic neural networks for process assessment (Figs. 7 and 8) are shown in the paper.

**Keywords:** monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes, intelligent systems, interaction, artificial intelligence.

## 1. Wstęp

Według proponowanej nowej koncepcji (rys. 1) procesy mikro- i nanoobróbki precyzyjnego szlifowania mogą być realizowane z zastosowaniem hybrydowego systemu monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów obróbki wyposażonego w warstwę zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu. Opracowany hybrydowy system monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów mikro- i nanoobróbki, przedstawiany na przykładzie precyzyjnego szlifowania,

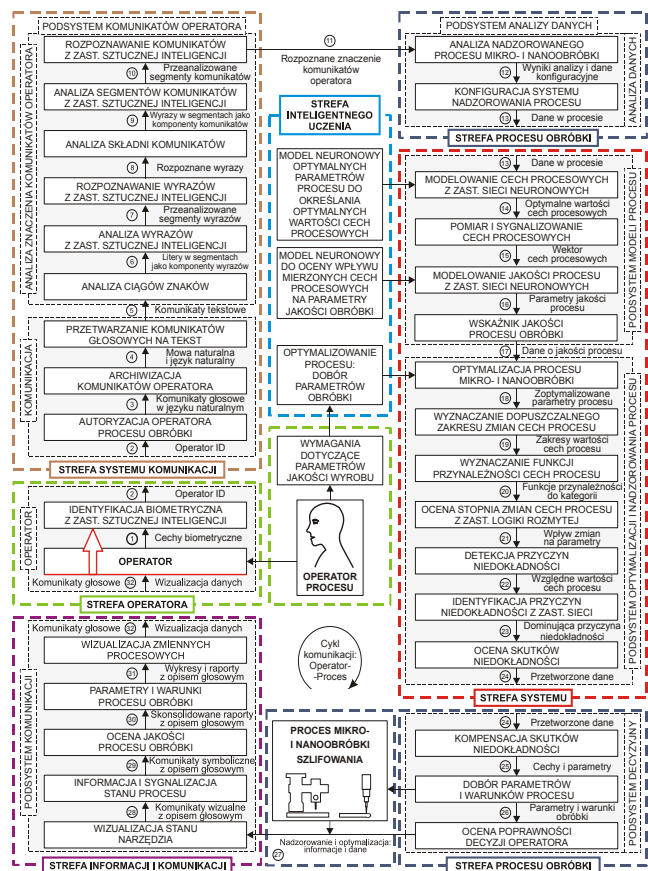
cechuje się również możliwościami innych zastosowań. Do głównych zadań tego systemu należy: modelowanie procesu, ocena skutków niedokładności, identyfikacja przyczyn niedokładności oraz optymalizacja warunków i parametrów procesu.



Rys. 1. Koncepcja głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki

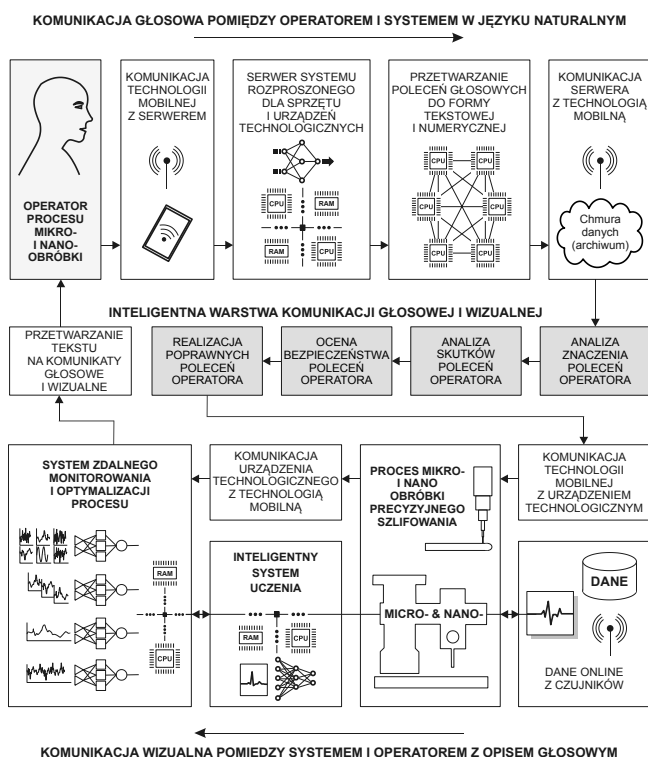
Fig. 1. Concept of voice and visual communication of the operator with a system for monitoring and optimization of micro- and nano-machining processes

Proponowana koncepcja realizacji procesów mikro- i nanoobróbki z zastosowaniem hybrydowego systemu monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości tych procesów wyposażonego w warstwę zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu została przedstawiona w szczegółowej postaci na (rys. 2). Według opracowanej koncepcji system wykorzystuje neuronowe modelowanie cech procesu, neuronowe modelowanie jakości procesu, wykrywa i identyfikuje przyczyny niedokładności, oraz realizuje nadzorowanie i optymalizację procesu obróbki. Inteligentna warstwa komunikacji złożona jest z podsystemu głosowej komunikacji pomiędzy operatorem i systemem w języku naturalnym oraz podsystemu wizualnej komunikacji pomiędzy systemem i operatorem z wykorzystaniem opisu głosowego. Koncepcja wprowadza również do zastosowania inteligentny system uczenia, kontekstową bazę wiedzy, architekturę systemu rozproszonego obejmującą mobilną platformę sprzętową i rozproszone oprogramowanie (rys. 3).



Rys. 2. Budowa systemu zdalnego monitorowania i optymalizacji procesów precyzyjnego szlifowania z zastosowaniem głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu

Fig. 2. Structure of the system of distant monitoring and optimization of precision grinding processes using voice and visual communication of the system with the operator



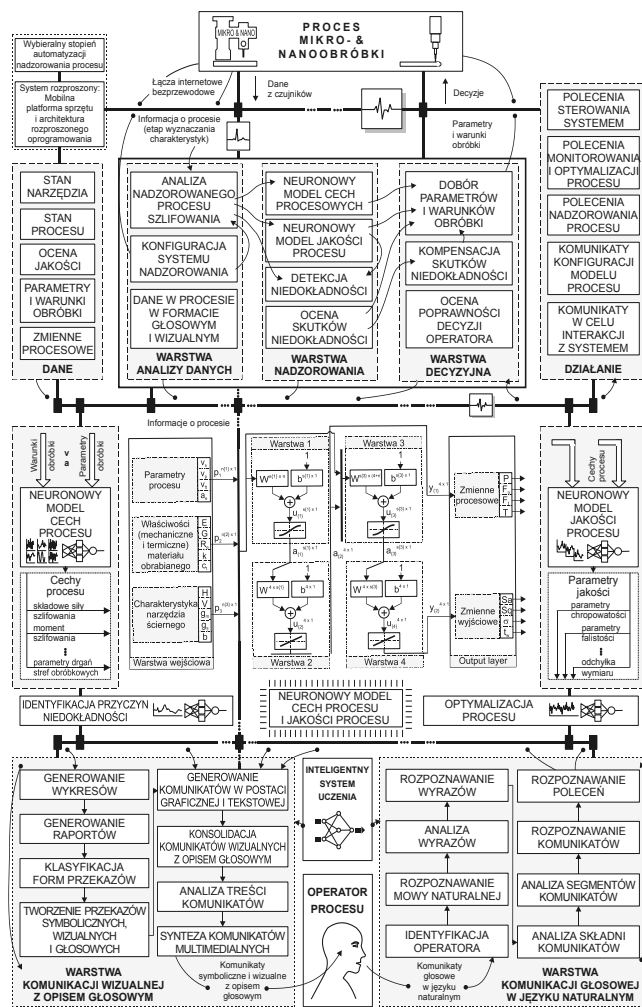
Rys. 3. Interaktywny system z zastosowaniem technologii mobilnych

Fig. 3. Interactive system using mobile technologies

Praca [1] przedstawia osiągnięcia w zakresie inteligentnych systemów interakcji urządzeń technicznych i ich operatorów. Natomiast prace [2, 3, 4] przedstawiają rozwiązania dotyczące nadzorowania procesów precyzyjnego szlifowania oraz hybrydowego systemu monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów precyzyjnego szlifowania.

## 2. Opracowane interaktywne hybrydowe systemy monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki

Opracowany interaktywny system monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów precyzyjnego szlifowania (rys. 4) charakteryzuje się podziałem na podsystemy składające się z wielu wyspecjalizowanych modułów. Zbudowany system zawiera podsystem komunikacji od operatora, podsystem analizy danych, podsystem nadzorowania procesu mikro i nanoobróbki, podsystem decyzyjny, podsystem informacji i komunikacji, neuronowy model cech procesowych oraz neuronowy model jakości procesu.



Rys. 4. Interaktywny system monitorowania i optymalizacji procesów z zastosowaniem neuronowych modeli

Fig. 4. Interactive system of monitoring and optimization of processes using neural models

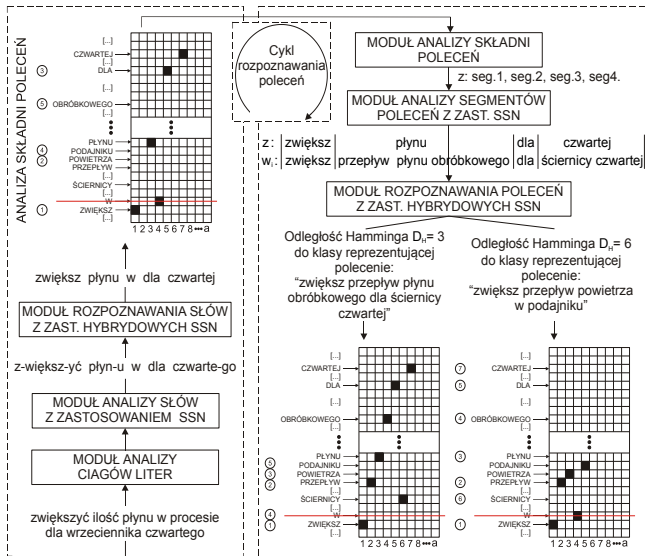
System zdalnego monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów precyzyjnego szlifowania z zastosowaniem głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu został podzielony na strefy w celu zwiększenia niezależności od platformy urządzeń i sprzętu oraz uniwersalności zastosowań.

Koncepcja dokonuje podziału na następujące strefy: strefa operatora, strefa systemu komunikacji od operatora, strefa procesu obróbki, strefa systemu monitorowania i optymalizacji, strefa informacji i komunikacji do operatora, oraz strefa inteligentnego uczenia.

Zaproponowany interaktywny system cechuje modułowa architektura i komplementarność opracowanych rozwiązań. Zastosowane uniwersalne sieci neuronowe i metody logiki rozmytej pozwalają na stworzenie kompletnego systemu charakteryzującego się możliwościami wielu zastosowań w procesach obróbki.

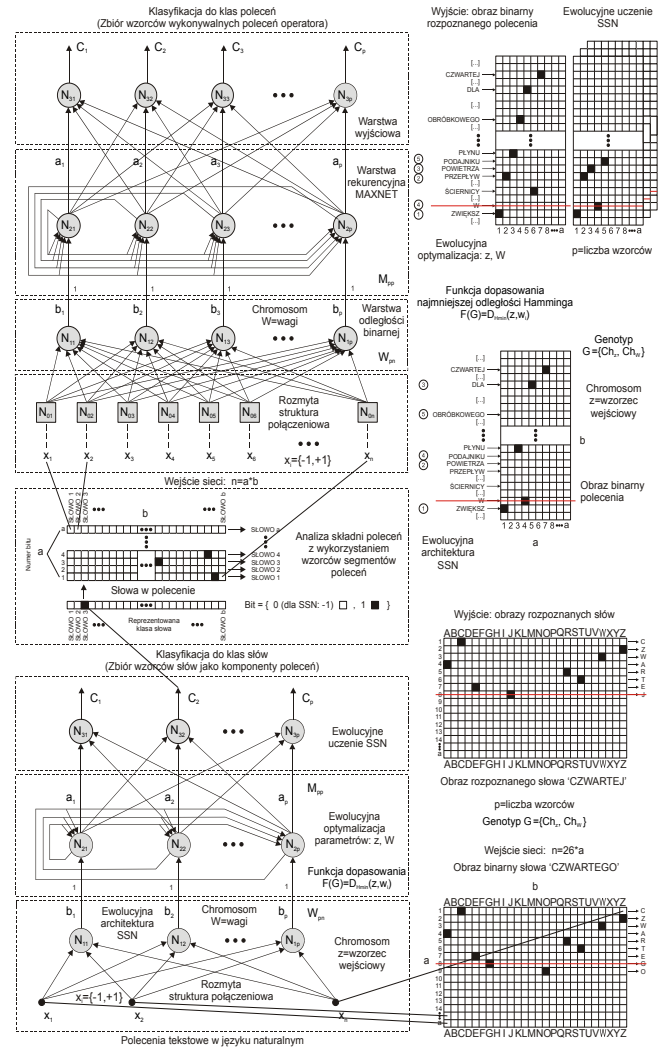
### 3. Inteligentna interakcja systemu i operatora

Opracowany interaktywny system monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów precyzyjnego szlifowania wyposażony jest w inteligentny system analizy znaczenia komunikatów i poleceń operatora. W systemie rozpoznawania znaczenia zastosowano opracowane hybrydowe sieci neuronowe, które wykorzystują informację otrzymaną w wyniku analizy ciągów liter, słów, składni i segmentów komunikatów do określenia swojej architektury i parametrów uczenia. Cykl rozpoznawania znaczenia komunikatów i poleceń w procesach precyzyjnego szlifowania przedstawiano na (rys. 5), natomiast przykład rozpoznawania znaczenia komunikatów i poleceń z zastosowaniem ewolucyjnej architektury sieci neuronowych pokazano na (rys. 6).



Rys. 5. Cykl rozpoznawania znaczenia komunikatów i poleceń z zastosowaniem ewolucyjnej architektury sieci neuronowych  
 Fig. 5. Cycle of meaning recognition of messages and commands using evolutionary architecture of neural networks

Opracowana metodyka rozpoznawania słów i poleceń oparta jest na zastosowaniu sieci neuronowych Hamminga, które w efekcie zastosowania opracowanych algorytmów cechują się ewolucyjną architekturą i uczeniem. Sieci Hamminga o ewolucyjno-rozmytej architekturze wykrywają wszelkie istotne zależności w zbiorze danych wejściowych, w celu nauki rozpoznawania obrazów binarnych słów lub poleceń, ich kategorii oraz cech istotnych czy regularności. Strategie ewolucyjne pozwalają na wytypowanie fragmentów obrazów binarnych wag sieci do usunięcia oraz zmniejszenie wymiarów wektorów tych wag. Zastosowana funkcja dopasowania najmniejszej odległości Hamminga wyznacza ewolucyjny charakter tych sieci neuronowych. Wykorzystanie operatorów logicznych w procesie nadawania wartości wagom na etapie analizy ustala rozmytą strukturę połączeniową sieci.



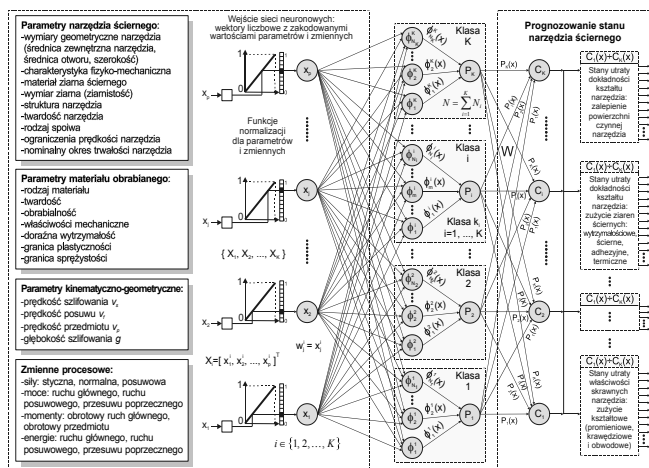
Rys. 6. Rozpoznawanie znaczenia komunikatów i poleceń z zastosowaniem ewolucyjnej architektury sieci neuronowych  
 Fig. 6. Recognition of meaning of messages and commands using evolutionary architecture of neural networks

### 4. Prognozowanie stanu narzędzia ściernego i jakości powierzchni po obróbce

Interaktywny system wyposażony jest w hybrydowe sieci neuronowe do monitorowania, optymalizacji i prognozowania jakości procesów obróbki. Opracowano metodykę prognozowania stanu narzędzia ściernego (rys. 7) oraz prognozowania jakości powierzchni po obróbce (rys. 8) na podstawie parametrów obróbki oraz przebiegu zmiennych procesowych z wykorzystaniem sieci probabilistycznych [5].

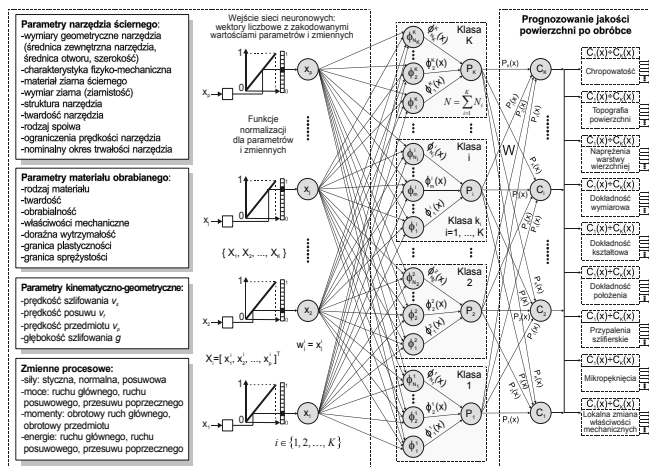
W opracowanej metodyce wejście probabilistycznych sieci neuronowych stanowią wektory liczbowe z zakodowanymi wartościami parametrów i zmiennych w procesie. Wartości wejściowe są przetwarzane przez funkcje normalizacji dla poszczególnych parametrów i zmiennych. W procesach precyzyjnego szlifowania, parametry narzędzia ściernego są następujące: wymiary geometryczne narzędzia (średnica zewnętrzna narzędzia, średnica otworu, szerokość), charakterystyka fizyko-mechaniczna, materiał ziarna ściernego, wymiar ziarna (ziarnistość), struktura narzędzia, twardość narzędzia, rodzaj spoiwa, ograniczenia prędkości narzędzia, nominalny okres trwałości narzędzia. Parametry materiału obrabianego stanowią: rodzaj materiału, twardość, obrabialność, właściwości mechaniczne, doraźna wytrzymałość, granica plastyczności, granica sprężystości.

Parametry kinematyczno-geometryczne są następujące: prędkość szlifowania  $v_s$ , prędkość posuwu  $v_f$ , prędkość przedmiotu  $v_p$ , głębokość szlifowania  $g$ . Natomiast zmienne procesowe stanowią: siły (styczna, normalna, posuwowa), moce (ruchu głównego, ruchu posuwowego, przesuwu poprzecznego), momenty (obrotowy ruchu głównego, obrotowy przedmiotu), energie (ruchu głównego, ruchu posuwowego, przesuwu poprzecznego).



rys. 7. Metodyka prognozowania stanu narzędzia ściernego na podstawie parametrów obróbki oraz przebiegu zmiennych procesowych z zastosowaniem sieci probabilistycznych

Fig. 7. The methodology of forecasting the state of an abrasive tool based on processing parameters and process variables using probabilistic networks



rys. 8. Metodyka prognozowania jakości powierzchni po obróbce na podstawie parametrów obróbki oraz przebiegu zmiennych procesowych z zastosowaniem sieci probabilistycznych

Fig. 8. The methodology of forecasting the surface quality after treatment on the basis of processing parameters and the process variables using probabilistic networks

Opracowane sieci probabilistyczne klasyfikują stan narzędzia ściernego do następujących przykładowych stanów w procesie:

- stany utraty właściwości skrawnych narzędzia: zużycie kształtowe (promieniowe, krawędziowe i obwodowe),
- stany utraty dokładności kształtu narzędzia: zużycie ziaren ściernych: wytrzymałościowe, ściernie, adhezyjne, termiczne,
- stany utraty dokładności kształtu narzędzia: zalepienie powierzchni czynnej narzędzia.

Natomiast dla prognozowania jakości powierzchni po obróbce, opracowane sieci probabilistyczne klasyfikują jakość powierzchni po obróbce do następujących przykładowych klas wartości w procesie dotyczących: chropowatości powierzchni, topografii powierzchni, naprężeń warstwy wierzchniej, dokładności wymiarowej, dokładności kształtowych, dokładności położenia, przypażeń szlifierskich, mikropęknięć, lokalnych zmian właściwości mechanicznych.

### 5. Wnioski

Koncepcja systemu zdalnego monitorowania i optymalizacji jakości procesów mikro- i nanoobróbki, wyposażonego w interfejs głosowy i wizualny oraz sztuczną inteligencję, pozwala na budowę uniwersalnych systemów, niezależnych od rodzaju procesów wytwarzania, parametrów i warunków obróbki. Opracowana blokowa struktura systemu pozwala na wykorzystywanie go do monitorowania przebiegu wielu innych procesów mikro- i nanoobróbki, co pociągnie za sobą konieczność zmiany jedynie zbioru sygnałów wejściowych systemu wraz ze wzorcami.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki (NCN).

### 6. Literatura

- [1] Kacalak W., Majewski M.: New Intelligent Interactive Automated Systems for Design of Machine Elements and Assemblies. 19th International Conference on Neural Information Processing ICONIP2012, Doha, Qatar, 12-15 November 2012. Lecture Notes in Computer Science 7666, Part IV. Springer 2012. 115-122. DOI: 10.1007/978-3-642-34478-7\_15.
- [2] Lipiński D., Majewski M.: Koncepcja zdalnej, głosowej i wizualnej komunikacji operatora i systemu monitorowania i optymalizacji procesów mikro- i nanoobróbki. Pomiary Automatyka Kontrola. PAK vol. 59, nr 7/2013. 648-651.
- [3] Lipiński D., Majewski M.: Interactive Hybrid Systems for Monitoring and Optimization of Micro- and Nano-machining Processes. The 20th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2013), 3-7 November 2013, Daegu, Korea. Lecture Notes in Computer Science Vol. 8227, 2013, Springer 2013. 360-367. DOI: 10.1007/978-3-642-42042-9\_45
- [4] Lipiński D., Majewski M.: System for Monitoring and Optimization of Micro- and Nano-Machining Processes Using Intelligent Voice and Visual Communication. The 14th International Conference on Intelligent Data Engineering and Automated Learning (IDEAL 2013), 20-23 October 2013, Hefei, Anhui, China. Lecture Notes in Computer Science Vol. 8206, 2013, Springer 2013. 16-23. DOI: 10.1007/978-3-642-41278-3\_3
- [5] Specht D.F.: A general regression neural network. IEEE Transactions on Neural Networks. Vol. 2, No. 6 (November 1991) 568-576.

otrzymano / received: 24.06.2014  
 przyjęto do druku / accepted: 02.09.2014      artykuł recenzowany / revised paper