

Grzegorz WOJNAR, Tomasz FIGLUS, Piotr CZECH

## STANOWISKO MOCY KRAŻĄCEJ JAKO SYSTEM POZYSKIWANIA DANYCH TESTUJĄCYCH DLA KLASYFIKATORÓW NEURONOWYCH

**Streszczenie.** W opracowaniu przedstawiono metodologię wykorzystania stanowiska mocy krążącej jako bazy w pozyskaniu danych do walidacji klasyfikatorów neuronowych. W artykule przedstawiono metodologię pomiarów i wstępnej obróbki sygnałów zmierzonych na stanowisku FZG.

## THE CIRCULATING POWER TEST RIG AS A SYSTEM OF GETTING DATA TEST FOR THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

**Summary.** The work presents methodology of using circulating power test rig as a base of getting data set for artificial neural networks. The result of measurements used to test a neural classification system. The following paper presents a method of measuring and signal processing.

### 1. WPROWADZENIE

Podstawowym zadaniem diagnostyki eksploatacyjnej przekładni zębatych jest wykrycie procesów degradacji i zużycia już we wczesnych stadiach, zanim doprowadzą one do awarii [1,4,14]. Podstawą stosowanych obecnie metod diagnostyki jest sygnał wibroakustyczny generowany w czasie pracy przez przekładnie. Wystąpieniu w przekładniach zębatych lokalnych uszkodzeń towarzyszy modulacja sygnału generowanego w zazębieniu. Wybór odpowiedniej metody pomiaru i analizy sygnału drganiowego ma kluczową rolę w poprawności oceny stanu technicznego przekładni zębatej.

W ostatnich latach zauważa się wzrastające zainteresowanie zastosowaniem metod sztucznej inteligencji w diagnozowaniu stanu urządzeń [3,9,10,11]. Spośród tych metod można wyróżnić sztuczne sieci neuronowe, logikę rozmytą, algorytmy genetyczne. Zgodnie z bibliografią [13,15] sieci neuronowe należą do wyrafinowanych technik modelowania, zdolnych do odwzorowania nadzwyczaj złożonych funkcji z dużą liczbą zmiennych niezależnych.

W pracach [3,9,10,11] autorzy próbują wykorzystać sztuczne sieci neuronowe w problemach klasyfikacji stopnia uszkodzeń zębów przekładni zębatych. Badania

przewodzone są dla dwóch typów lokalnych uszkodzeń zębów: pęknięcia u podstawy zęba oraz wykruszenia wierzchołka zęba.

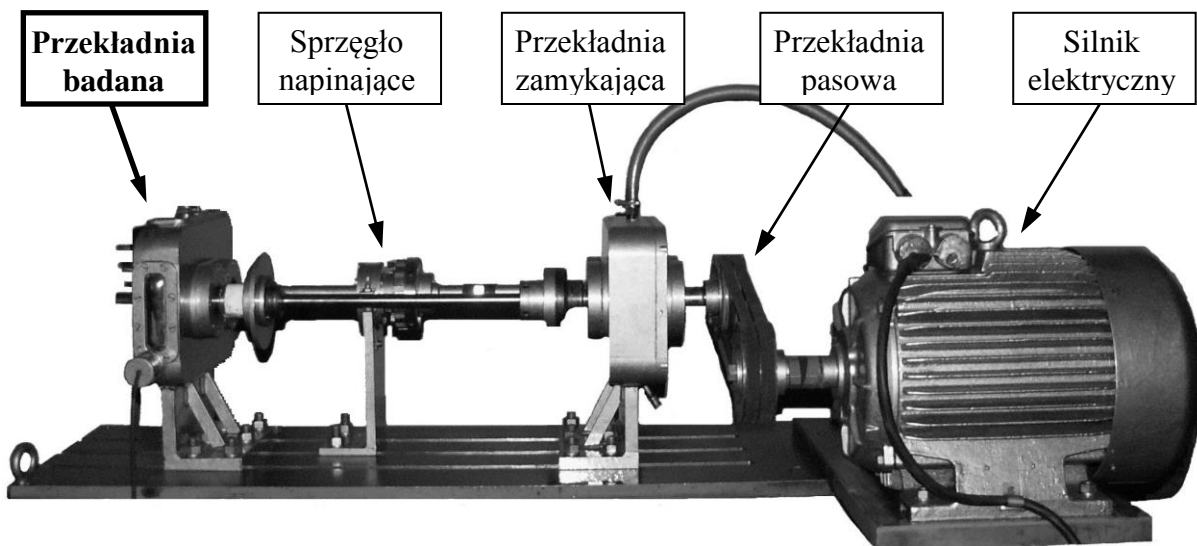
Metodyka eksperymentów zakłada wykorzystanie w procesie uczenia sieci neuronowych sygnałów drganiowych otrzymanych z modelu dynamicznego przekładni zębatej [8].

Aby zastosować sztuczną sieć neuronową dla rzeczywistego obiektu przekładni zębatej, należy sprawdzić poprawność jej pracy na zmierzonych rzeczywistych sygnałach. W metodologii [3,9,10,11] założono walidację poprawności działania sieci na sygnale drganiowym zmierzonym na stanowisku mocy krążącej FZG.

Wybór odpowiedniej metody pomiarowej, metody uśredniania zmierzonego sygnału oraz metod obróbki sygnału jest podstawą poprawności stosowania klasyfikatorów neuronowych zaprojektowanych zgodnie z metodologią przedstawioną w pracach [3,9,10,11].

## 2. OBIEKT BADAŃ

Na rysunku 1 przedstawiono badaną przekładnię zębatą pracującą w układzie mocy krążącej (FZG).



Rys. 1. Schemat stanowiska FZG

Fig. 1. Scheme of FZG

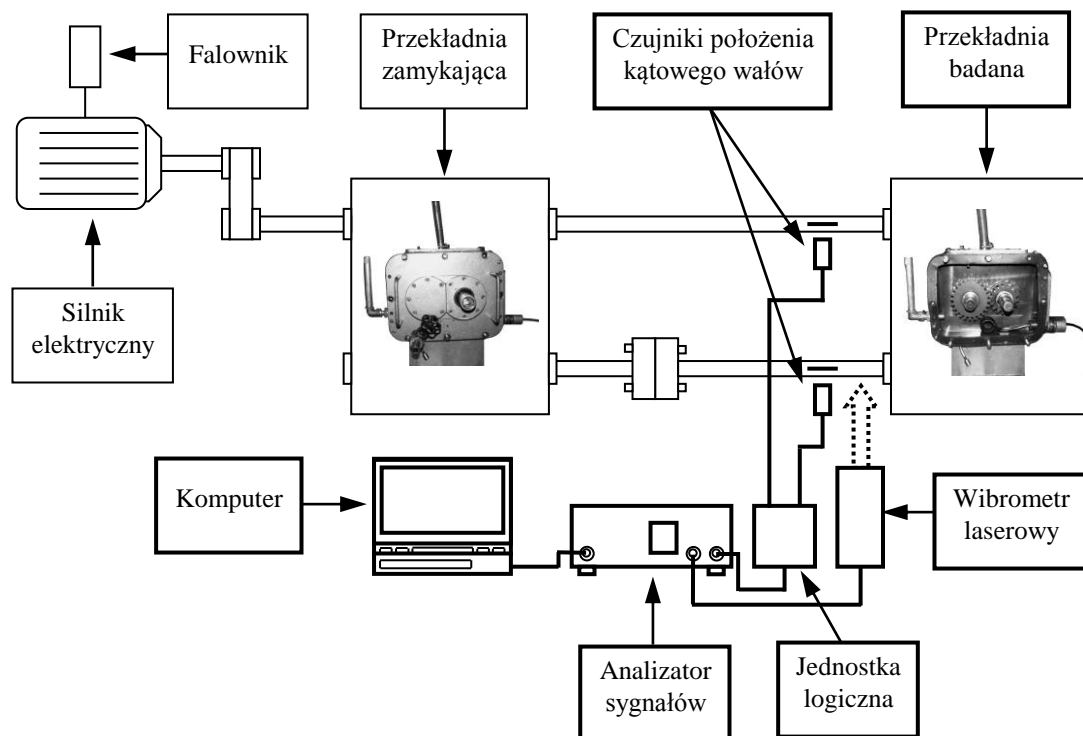
Obiektem badań była przekładnia zębata pracująca w układzie napędowym, w którego skład wchodzi silnik elektryczny, przekładnia pasowa, badana przekładnia zębata, przekładnia zamykająca oraz sprzęgło napinające. Silnik elektryczny o mocy 15 [kW] za pośrednictwem przekładni pasowej napędza przekładnię zamykającą. Obciążenie przekładni regulowane jest za pomocą dźwigni z obciążnikami, sprzęgła napinającego i wałków skrętnych. Prędkość pracy przekładni regulowano za pomocą falownika sterującego pracą silnika elektrycznego. Przekładnie badana i zamykająca mają jednakowe przełożenie i jednakowy rozstaw osi.

### 3. OPIS METODY POZYSKIWANIA DANYCH TESTUJĄCYCH DLA NEURONOWYCH KLASYFIKATORÓW

W Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych trwają prace nad neuronowym klasyfikatorem stopnia uszkodzeń kół przekładni zębatych [3,9,10,11]. Opracowana metodyka projektowania neuronowych klasyfikatorów zakłada uczenie ich za pomocą danych pozyskanych z modelu dynamicznego przekładni zębatej pracującej w układzie napędowym [8]. Równocześnie założono testowanie poprawności pracy zaprojektowanych klasyfikatorów na danych pomiarowych uzyskanych z rzeczywistej przekładni FZG.

Pierwszą decyzją, jaką należy podjąć przed przystąpieniem do badań doświadczalnych, jest wybór miary i sposób pomiaru [1,2,3,4,7]. Na podstawie bibliografii [1,4,5,6,12,16,17] jako nośnik informacji dobrze odzwierciedlającej uszkodzenia przekładni zębatej przyjęto sygnał prędkości drgań poprzecznych wału koła.

Schemat układu pomiarowego zastosowanego w badaniach został przedstawiony na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego  
Fig. 2. Scheme of measurement system

Pomiar drgań jest dokonywany za pomocą wibrometru laserowego Ometron VH300+ [12]. Jednostka logiczna wraz z dwoma czujnikami położenia kąowego wałów umożliwia określenie momentu skojarzenia tej samej pary zębów. Zarejestrowany sygnał prędkości drgań oraz sygnał odniesienia z jednostki logicznej jest przetwarzany w analizatorze sygnałów DSPT SigLab. Zmierzone sygnały próbkowano z częstotliwością 25600 [Hz] i rejestrowano w komputerze PC.

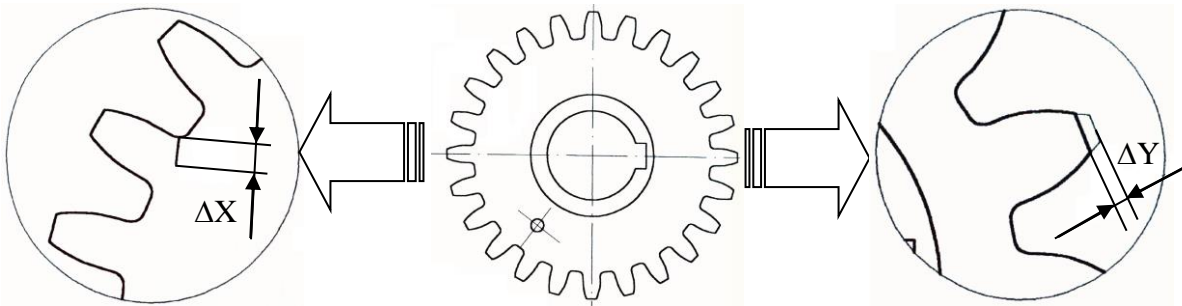
Zgodnie z [5,6,12,17] sygnał zarejestrowany w takiej postaci nie nadaje się bezpośrednio do wykorzystania jako źródło estymat odzwierciedlających uszkodzenie przekładni zębatych. Niezbędne jest uśrednienie sygnału jedną z dostępnych metod [17]:

- uśrednienie czasem obrotu zębniaka lub koła,
- uśrednienie czasem skojarzeń zębów,
- uśrednienie zaawansowanymi metodami TDE, TDEB, TDER.

W badaniach wykorzystano metodę uśredniania sygnału drganiowego czasem powtarzania cyklu skojarzeń zębów.

W celu sprawdzenia poprawności działania klasyfikatorów neuronowych w zadaniu identyfikacji stopnia uszkodzenia przekładni zębatej wykonano serię pomiarów drgań poprzecznych wału koła przekładni nieuszkodzonej oraz przekładni z zamodelowanymi uszkodzeniami (rys. 3):

- pęknięcia u podstawy zęba ( $\Delta X = 1, \Delta X = 3$  [mm]),
- wykruszenia wierzchołka zęba ( $\Delta Y = 0,75, \Delta Y = 1,5, \Delta Y = 2$  [mm]).



Rys. 3. Zamodelowane uszkodzenia zębów koła

Fig 3. Drawing of local damages of teeth

Pomiary wykonano dla przekładni zębatej pracującej przy dwóch prędkościach obrotowych wału koła:

- $n = 900$  [obr/min] ( $f = 15$  [Hz]),
- $n = 1800$  [obr/min] ( $f = 30$  [Hz]),

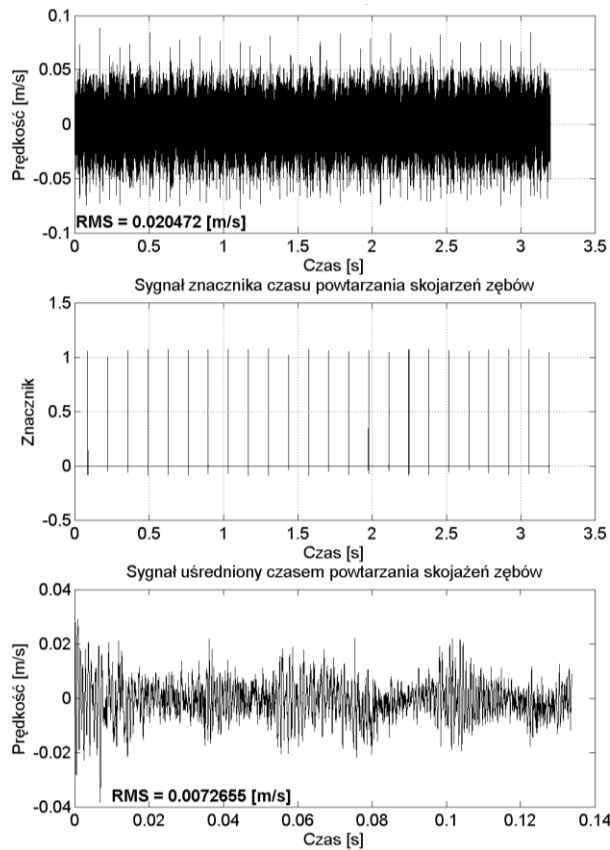
i dwóch obciążeniach:

- $M = 138$  [Nm] ( $Q = 2,58$  [MPa]),
- $M = 206$  [Nm] ( $Q = 3,85$  [MPa]).

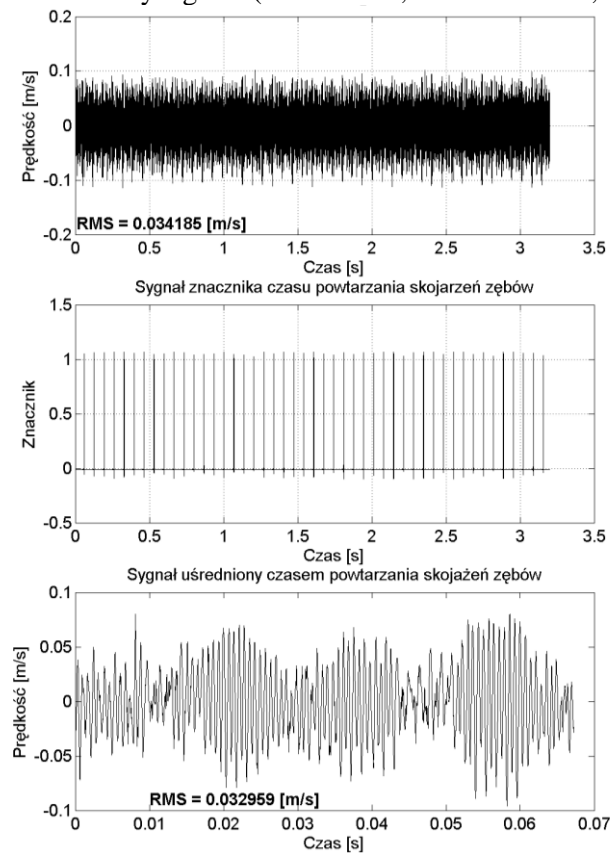
Wartości prędkości obrotowych i obciążeń dobrano tak, aby umożliwić przetestowanie sieci neuronowych uczonych na sygnałach otrzymanych ze zidentyfikowanego modelu przekładni zębatej pracującej w układzie napędowym [9].

Zgodnie z metodyką przedstawioną w pracach [3,9,10,11] zarejestrowany sygnał poddano odpowiedniej filtracji oraz wykorzystując dostępne metody analizy sygnału wibroakustycznego dokonano ekstrakcji cech spełniających funkcję danych wejściowych dla sztucznych sieci neuronowych.

Przykładowe zarejestrowane sygnały prędkości poprzecznych wału koła dla przekładni z lokalnym uszkodzeniem zęba w postaci wykruszenia oraz pęknięcia u podstawy przedstawiają odpowiednio rysunki 5 i 6.



Rys. 5. Prędkość drgań poprzecznych wału koła ( $M=138$  Nm,  $n=900$  obr/min,  $\Delta X=3$  mm)  
 Fig. 5. Transversal vibration velocity signals ( $M=138$  Nm,  $n=900$  obr/min,  $\Delta X=3$  mm)



Rys. 6. Prędkość drgań poprzecznych wału koła ( $M=206$  Nm,  $n=1800$  obr/min,  $\Delta Y=2$  mm)  
 Fig. 6. Transversal vibration velocity signals ( $M=206$  Nm,  $n=1800$  obr/min,  $\Delta Y=2$  mm)

**Bibliografia**

1. Cempel C.: Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn. WNT, Warszawa 1982.
2. Czech P.: A search the statistical measures used as input data for the artificial neural network. 5<sup>th</sup> International Conference for Postgraduate Students and Young Research and Science Workers. Pardubice, Czech Republic 2004.
3. Czech P.: Wykrywanie uszkodzeń przekładni zębatych za pomocą metod sztucznej inteligencji. Rozprawa doktorska, Katowice 2006.
4. Dąbrowski Z., Radkowski S., Wilk A.: Dynamika przekładni zębatych. Badania i symulacja w projektowaniu eksploatacyjnie zorientowanym. ITE, Radom 2000.
5. Figlus Katedrze.: Metoda drganiowa diagnozowania stanu kół zębatych w przypadku zużycia i uszkodzenia łożysk tocznych przekładni. Rozprawa doktorska, Katowice 2005.
6. Figlus T., Wilk A., Fołęga P.: Diagnozowanie złożonych przypadków uszkodzeń przekładni zębatych z wykorzystaniem różnych technik pomiaru drgań. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 56/2005.
7. Kucharski T.: System pomiaru drgań mechanicznych. WNT, Warszawa 2002.
8. Łazarz B.: Zidentyfikowany model dynamiczny przekładni zębatej jako podstawa projektowania. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Katowice-Radom 2001.
9. Łazarz B., Czech P.: Optymalizacja sieci neuronowej typu SVM w zadaniu identyfikacji stopnia pęknięcia zęba. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Transport, z. 50/2003.
10. Łazarz B., Czech P.: Wykorzystanie sieci neuronowych do identyfikacji pęknięcia stopy zęba. Diagnostyka, vol. 31/2004.
11. Łazarz B., Madej H., Czech P.: Ciągła transformata falkowa jako podstawa klasyfikatora neuronowego typu SVM. XXXII Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2005.
12. Łazarz B., Wojnar G.: Bezkontaktowe pomiary laserowe drgań w diagnostyce wibroakustycznej. XI Seminarium Naukowe „Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej”, Katowice 2003.
13. Nałęcz M., Duch W., Korbicz J., Rutkowski L., Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2000.
14. Radkowski S.: Wibroakustyczna diagnostyka uszkodzeń niskoenergetycznych. ITE, Warszawa-Radom 2002.
15. Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993.
16. Wilk A., Łazarz B., Madej H.: Vibration Processing Techniques for Fault Detection in Gearboxes. ASME 2003. Chicago, Illinois, USA, 2003.
17. Wojnar G.: Wykrywanie uszkodzeń kół zębatych wybranymi metodami przetwarzania sygnałów drganiowych. Rozprawa doktorska, Katowice 2004.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski