

ZASTOSOWANIE ESTYMATORÓW PUNKTOWYCH I ICH DYSKRYMINANT W OCENIE POPRAWNOŚCI WYKONANIA I MONTAŻU SAMOCHODOWYCH SKRZYŃ PRZEKŁADNIOWYCH*

Arkadiusz BOCZKOWSKI

Politechnika Śląska, Katedra Podstaw Systemów Technicznych
Zabrze, ul. Roosevelta 26, e-mail: arekb@polsl.gliwice.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań mających na celu opracowanie prostej i skutecznej metody oceny poprawności wykonania i montażu samochodowych skrzyń przekładniowych w warunkach produkcyjnych, której zaletą winna być odpowiednio wysoka wrażliwość diagnostyczna, pewność i szybkość diagnozy, porównywalność wyników oraz mała wrażliwość na zakłócenia zewnętrzne. W tym celu podjęto próbę opracowania metody badań stanowiskowych, bazujących na analizie sygnałów wibroakustycznych rejestrowanych w czasie pracy skrzynki na stanowisku kontrolnym. Ponadto wykazano możliwość zastosowania estymatorów punktowych i dyskryminant amplitudowych jako kryterium oceny jakości w kategoriach: dobra-zła.

Słowa kluczowe: skrzynie przekładniowe, wibroakustyka, ocena jakości

THE APPLICATION OF POINT ESTIMATORS AND THEIR DISCRIMINANTS IN QUALITY ASSESSMENT OF PRODUCTION AND ASSEMBLING AUTOMOTIVE GEARBOXES

Summary

In the article the results of the tests, whose purpose is to work out simple and effective methods of the quality assessment of the performance and the assembling of automotive gearboxes in production conditions have been presented. The advantage of the method should be appropriate high diagnosis sensitivity, solid and fast diagnosis, comparison of results and low sensitivity to outside disruptions. In this purpose it has been tried to apply the method of test basing on vibroacoustics signal analysis, being registered while gear was testing on the control stand. Moreover the possibility of the application of point estimators and amplitude discriminants as a criterion of quality assessment in categories: good – bad was also pointed out.

Key words: automotive gearboxes, vibroacoustics, quality assessment

1. WSTĘP

Samochodowe skrzynie przekładniowe powinny charakteryzować się odpowiednio wysoką trwałością i niezawodnością działania w stosunkowo długim okresie eksploatacji. Na określone kształtowanie tych cech znaczący wpływ ma nie tylko sam proces projektowania i konstruowania skrzyń przekładniowych, ale również proces wykonania poszczególnych detali (koła zębate, wałki, łożyska, korpus) oraz ich montaż. W czasie szeroko rozumianego procesu produkcji mamy do czynienia z pojawianiem się różnego rodzaju błędów wykonawczych i montażowych, które są najczęstszą przyczyną znacznego zmniejszenia trwałości skrzynki, a co za tym idzie - jej jakości. Typowymi uszkodzeniami występującymi w czasie produkcji skrzyń są: uszkodzenia ewolwenty zębów,

zagniecenia zębów na miękko, skrzywienia zębów powstałe w procesie obróbki cieplno-chemicznej, źle ustawione luzy międzyzębne, skrzywienia i błędy wykonawcze wałków, wady łożysk tocznych, przekroczone odchyłki nieosiowości i prostopadłości gniazd łożyskowych w korpusie itp. Gwarancją wysokiej jakości skrzyń przekładniowych może więc być tylko szczegółowa i bardzo dokładna ostateczna kontrola jakości, mająca na celu wykrycie ewentualnych wad powstałych w czasie produkcji lub montażu.

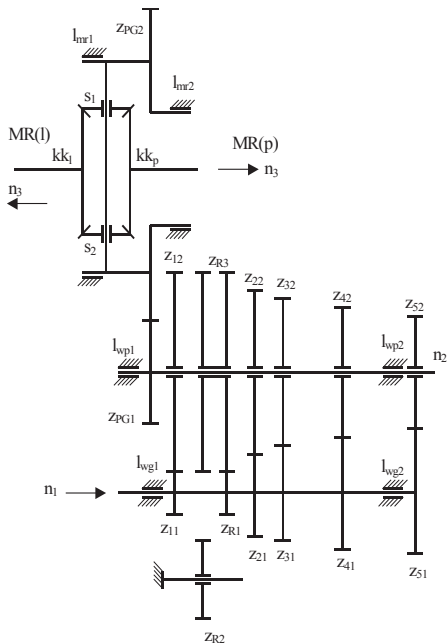
W przemyśle samochodowym ostateczna ocena poprawności wykonania i montażu samochodowych skrzyń przekładniowych odbywa się przeważnie przy zastosowaniu metod organoleptycznych, polegających na odsłuchu i obserwacji pracy skrzyni na poszczególnych biegach przez pracownika - eksperta. Jest to jednak metoda subiektywna,

* Niniejsze prace realizowane są w ramach grantu promotorskiego 8T07B00721 finansowanego przez KBN

charakteryzująca się małą porównywalnością wyników, dużą czasochłonnością oraz małą dokładnością. Dlatego też, celem prowadzonych badań jest znalezienie prostej a zarazem skutecznej metody oceny poprawności wykonania i montażu samochodowych skrzyń przekładniowych w warunkach produkcyjnych, której zaletą winna być odpowiednio wysoka wrażliwość diagnostyczna, pewność i szybkość diagnozy, porównywalność wyników oraz mała wrażliwość na zakłócenia zewnętrzne.

2. OBIEKT BADAŃ

Obiektem badań są produkowane w Polsce nowe skrzynie przekładniowe, których schemat kinematyczny przedstawiono na rys.1. Jest to skrzynia 6.-biegowa o przełożeniu przekładni głównej 16/57 z mechanizmem różnicowym umieszczonym we wnętrzu korpusu skrzyni. Skrzynie te w procesie produkcyjnym podlegają 100% kontroli jakości na stanowisku testowym, polegającej na odsłuchu pracy na każdym biegu przy ustalonej testowej prędkości obrotowej oraz pod zadaniem obciążeniem.

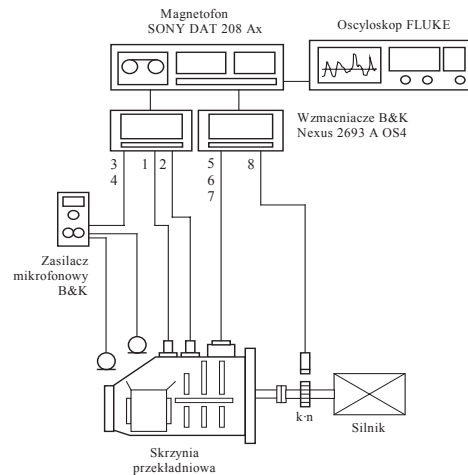


Rys.1. Schemat kinematyczny badanych skrzyń przekładniowych.

Realizacja pomysłu zastąpienia dotychczas stosowanej metody badań kontrolnych – badaniami wibroakustycznymi, w pierwszej kolejności wymagała przeprowadzenia badań uczących, w wyniku których można było poznać charakterystykę pracy przekładni oraz określić relację *stan-symptom-wartość symptomu*. W tym celu zarejestrowano na nośniku magnetycznym DAT przebiegi czasowe sygnałów wibroakustycznych uszkodzonych skrzyń przekładniowych oraz dla porównania - skrzyń dobrych. Selekcja konkretnych egzemplarzy skrzyń dla potrzeb badań uczących rozpoczęła się ok.

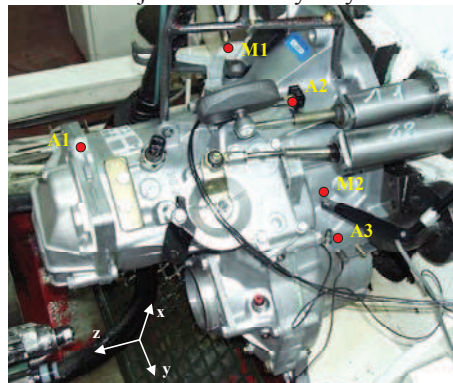
jednego miesiąca wcześniej. Zatem przygotowano do badań rzeczywiście uszkodzone lub źle zmontowane skrzynie, które zostały poddane ocenie jakości wg standardowych procedur w zakładzie. Dla każdej skrzyni określono rodzaj usterki oraz jej przyczynę. Część usterek, których nie udało się wychwycić w toku procesu produkcyjnego w omawianym okresie, została zasymulowana - np. niewłaściwy (brudny) montaż, skrzywienie wałka głównego, zagniecenie zębów na miękko, itp.

Łącznie (w eksperymencie czynnym) badaniami poddano 21 skrzyń przekładniowych z różnymi typami uszkodzeń oraz 4 skrzynie uznane jako wzorcowe. Dla każdej ze skrzyń przeprowadzono rejestrację przebiegu przyspieszeń drgań w trzech kierunkach X,Y,Z (pomiar na korpusie skrzynki) oraz sygnału akustycznego w polu bliskim. Pomiary przeprowadzono w czasie pracy skrzynki na każdym biegu przy stałej prędkości obrotowej (3500 obr/min dla biegu 4 i 5) oraz przy stałym obciążeniu. Dodatkowo wykonano rejestrację sygnałów wibroakustycznych w czasie rozruchu i wybiegu. Schemat toru pomiarowego przedstawiono na rys.2, natomiast lokalizację punktów pomiarowych na rys.3.



Rys.2. Schemat toru pomiarowego zastosowanego w trakcie doświadczalnych badań skrzyń:

1,2 – akcelerometry jednoosiowe; 3,4 – dwa mikrofony; 5,6,7 – akcelerometr trójosiowy; 8 – czujnik tachometryczny.



Rys.3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych: M1, M2 – mikrofonów, A1, A2 – akcelerometru trójosiowego, A3 – akcelerometrów jednoosiowych.

3. KONCEPCJA DIAGNOSTYCZNEGO SYSTEMU OCENY JAKOŚCI SKRZYŃ

Przez diagnostyczny system oceny poprawności (jakości) wykonania i montażu samochodowych skrzyń przekładniowych należy rozumieć taki system, który na podstawie analizy wyników testu wibroakustycznego konkretnego egzemplarza skrzynki dokona klasyfikacji typu: *dobra – zła*. W przypadku uzyskania wyniku pozytywnego system kończy test i jest gotowy do oceny następnej skrzynki. Z kolei w przypadku klasyfikacji „*produkt zły*” wytwórca powinien uzyskać bardziej szczegółową informację o przyczynach niepoprawnego funkcjonowania konkretnego egzemplarza skrzynki, np. numer uszkodzonego koła zębatego, typ i miejsce wystąpienia uszkodzenia, itd. Raport generowany przez system powinien mieć następującą postać:

- o klasyfikacja: *uszkodzona (zła)*
- o objaw: *stuki na biegu*
- o miejsce: *koło 5 biegu*
- o lokalizacja: *na wałku pośrednim*
- o przyczyna: *uszkodzony ząb*

Ponadto przemysłowy system oceny jakości skrzyń przekładniowych powinien charakteryzować się:

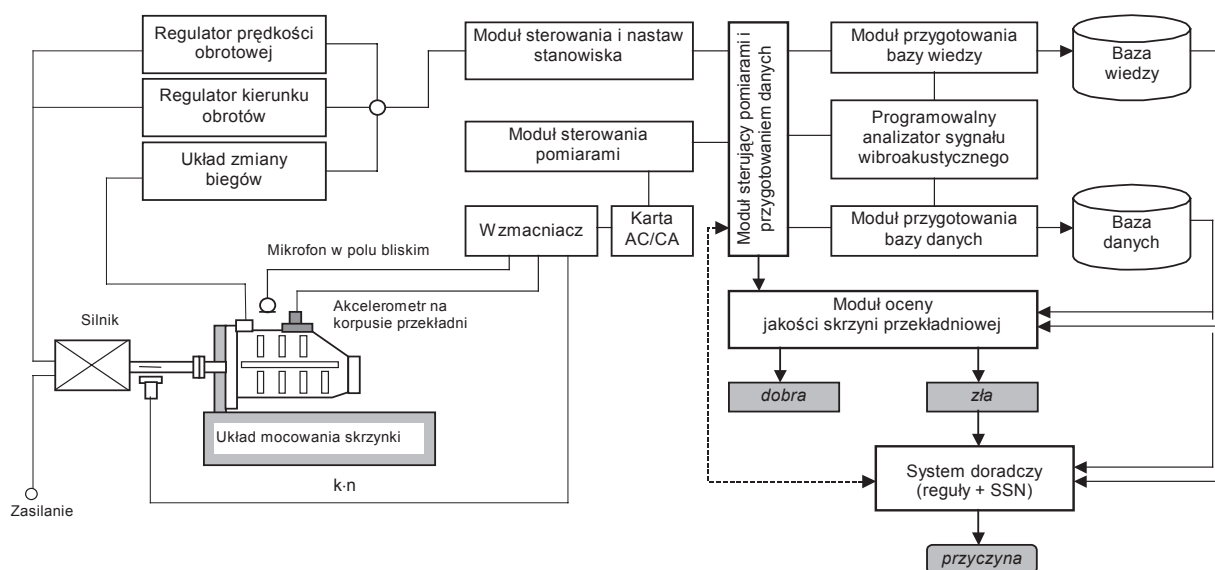
- odpowiednio dużą szybkością realizacji procedur testowych (badane jest 100% skrzyń),
- wysoką skutecznością i porównywalnością uzyskiwanych ocen,
- wysoką niezawodnością działania oraz precyzją lokalizacji usterek.

Opisane działanie systemu jest możliwe poprzez zintegrowanie środowiska programowego analizatora sygnału diagnostycznego ze specjalistycznym oprogramowaniem - systemem doradczym, dysponującym rozbudowaną bazą

wiedzy o konkretnych indywidualnych przypadkach, odpowiednim zbiorem stwierdzeń i reguł decyzyjnych oraz mechanizmem wnioskowania i objaśniania. Duże możliwości w tej dziedzinie stwarza zastosowanie sztucznych sieci neuronowych SSN, zwłaszcza w procesie klasyfikacji uszkodzeń, czy też redukcji zakłóceń. Ideę integracji oraz współdziałania programu analizatora z systemem doradczym oraz stanowiskiem testowym przedstawiono na rys.4. Jest to zarazem koncepcja budowy przemysłowego stanowiska odbiorczego służącego przedmiotowym badaniom.

W toku realizacji eksperymentu, na podstawie badań własnych oraz rozmów z pracownikami (ekspertami), ustalono, że optymalne warunki dla potrzeb szybkiej identyfikacji zdecydowanej większości uszkodzeń skrzyń przekładniowych występują w czasie testu skrzynki na biegu 5. Przyjęto zatem, że podstawowa klasyfikacja jakości skrzynki odbędzie się w czasie pracy na biegu 5, a jej wynik stanowić będzie podstawę oceny: *dobra – zła*. Ujawnianie się większości uszkodzeń w czasie testu na 5 biegu, związane jest z faktem pozostawania przez cały czas w zażębieniu par kół nie przenoszących momentu obrotowego oraz ze znaczną prędkością obrotową wału wejściowego skrzynki, tj. 3500 obr/min. Dodatkowe testy na pozostałych biegach mogą służyć potwierdzeniu poprawności dokonanej klasyfikacji lub próbie precyzyjnego określenia przyczyny uszkodzenia. Opracowanie sposobu oceny jakości skrzyń przekładniowych w pierwszej kolejności wymaga jednak przeprowadzenia analizy wrażliwości diagnostycznej wybranych cech sygnałów wibroakustycznych, a tym samym określenia ich przydatności do detekcji błędów wykonania i montażu.

W pierwszej kolejności postanowiono więc zbadać wrażliwość diagnostyczną podstawowych ocen



Rys.4. Koncepcja stanowiska diagnostycznego dla potrzeb oceny poprawności wykonania i montażu samochodowych skrzyń przekładniowych na podstawie analizy sygnału wibroakustycznego.

punktowych wyznaczonych na bazie sygnałów wibroakustycznych w dziedzinie czasu oraz ich dyskryminant amplitudowych.

4. WRAŻLIWOŚĆ DIAGNOSTYCZNA WYBRANYCH OCEN PUNKTOWYCH I DISKRYMINANT

4.1. Definicje zastosowanych estymatorów i ich dyskryminant

Dla potrzeb przeprowadzenia eksperymentu wykorzystano następujące definicje estymatorów liczbowych:

- wartość średnia bezwzględna X_{AVE} :

$$X_{AVE} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |x(t)| dt \quad (1)$$

- wartość skuteczna X_{RMS} :

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x^2(t) dt} \quad (2)$$

- wartość międzyszczytowa X_{p-p} :

$$X_{p-p} = X_{PEAK+} - X_{PEAK-} \quad (3)$$

oraz dyskryminant bezwymiarowych:

- współczynnik kształtu K :

$$K = \frac{X_{RMS}}{X_{AVE}} \quad (4)$$

- współczynnik szczytu C :

$$C = \frac{X_{PEAK}}{X_{RMS}} \quad (5)$$

- współczynnik impulsowości I :

$$I = \frac{X_{PEAK}}{X_{AVE}} \quad (6)$$

- kurtoza k :

$$k = \frac{\mu_x^4}{(\mu_x^2)^2} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T x^4(t) dt}{\left(\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \right)^2} \quad (7)$$

- skośność γ (współczynnik asymetrii):

$$\gamma = \frac{\mu_x^3}{\sigma_x^3} = \frac{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \mu_x]^3 dt}{X_{RMS}^3} \quad (8)$$

- współczynnik luzu L

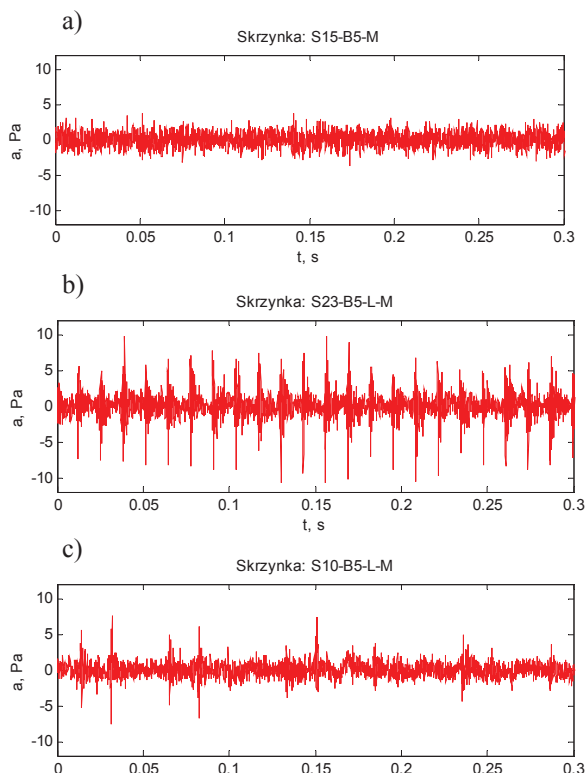
$$L = \frac{X_{AVE}}{\left(\frac{1}{T} \int_0^T |x(t)|^{1/2} dt \right)^2} \quad (9)$$

4.2. Analiza sygnałów WA

Obliczenia wartości wymienionych w pkt. 4.1 ocen punktowych i dyskryminant przeprowadzono dla sygnałów zarejestrowanych przy pracy skrzynki na każdym biegu (1-5, R) oraz dla pracy mechanizmu różnicowego (MR). W każdym przypadku dokonano rejestracji sygnałów drganiowych w paśmie do 6,4 kHz oraz sygnału akustycznego w paśmie do 10 kHz. Zarejestrowane sygnały zostały poddane dalszej obróbce cyfrowej w środowisku MATLABA oraz w programie DIAG_C526, przygotowanym specjalnie dla celów wspomaganego diagnostyki skrzyń.

Jak wcześniej wspomniano duże nadzieje wiąże się z możliwością obserwacji większości usterek skrzyń przekładniowych w czasie testu na biegu 5. Prawdopodobnie wnioskowanie na podstawie ww. wyników znacznie skróciłoby jednostkowy czas potrzebny do sprawdzenia jakości skrzyni, a co za tym idzie ograniczyłoby koszt produkcji. Dlatego też w dalszej części pracy szczególną uwagę poświęcono możliwości detekcji błędów wykonania i montażu skrzyń na biegu piątym. Na rys.5 przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe sygnału ciśnienia akustycznego zarejestrowanego w czasie pracy skrzyni na piątym biegu. Rys.5a przedstawia przebieg czasowy zarejestrowany dla skrzynki przekładniowej uznanej jako dobra. Na rys.5b można zaobserwować efekt uszkodzenia pojedynczego zęba wirującego koła wstecznego biegu, z kolei na rys.5c widoczne są efekty objawiania uszkodzonego koła biegu 3 podczas pracy skrzynki na 5 biegu. Efekty te pojawiają się nieregularnie, co jest związane z powstawaniem drgań „luźnych” kół zębatych (nie przenoszących momentu obrotowego).

Analizując przedstawione przebiegi czasowe można stwierdzić, że ww. uszkodzenia winny mieć również odzwierciedlenie w wartościach wyznaczonych ocen punktowych oraz ich dyskryminant. Jednak już w pierwszej fazie badań zaobserwowano, że jednoznaczna ocena jakości skrzyni przekładniowej za pomocą pojedynczego parametru jest praktycznie niemożliwa, z uwagi na znaczny rozrzut wyników rejestrowanych dla obiektów należących do tej samej klasy (zbiory wartości różnych klas posiadają części wspólne). Dlatego też, celem dalszych badań jest znalezienie takich ocen punktowych lub funkcyjnych, których obserwacja da największe prawdopodobieństwo trafnej klasyfikacji i ewentualnie umożliwi wnioskowanie o przyczynie uszkodzenia.



Rys.5. Przykładowe przebiegi czasowe sygnału akustycznego:

a) skrzynka dobra, b) stuki na biegu, c) obijanie.

4.3. Wyniki badań

Przed wykonaniem obliczeń przeprowadzono filtrację zarejestrowanych sygnałów, której celem było odizolowanie bezużytecznego diagnostycznie zakresu wyższych częstotliwości. Ostateczne obliczenia wykonano dla szerokopasmowego sygnału przyspieszenia drgań korpusu skrzyni (od 1 Hz do 5 kHz) mierzonego w trzech kierunkach x,y,z oraz dla sygnału akustycznego M w paśmie od 20Hz do 5kHz. Przykładowe wyniki w postaci wyznaczonych ocen punktowych w czasie pracy skrzynki na 5 biegu przedstawiono w tabelicy 1 – dla sygnału przyspieszenia drgań korpusu skrzynki, natomiast w tabelicy 2 – dla sygnału ciśnienia akustycznego w polu bliskim.

Następnie określono wartości klasyfikatora stanu, porównując uzyskane wyniki dla skrzyń dobrych i złych oraz obliczono poprawność klasyfikacji stanu (wyrażoną w procentach jako *trafność oceny*) w funkcji rodzaju estymatora oraz sygnału źródłowego. Kolorem szarym w tablicach 1 i 2 zaznaczone te wartości cech liczbowych, które przekraczają przyjętą wartość odpowiedniego klasyfikatora stanu.

Z uwagi na ograniczoną objętość artykułu pozostałe wyniki obliczeń nie będą prezentowane w sposób szczegółowy. Natomiast na rys.6. przedstawiono w sposób graficzny ostateczny rezultat statystycznej obróbki wyników obliczeń.

Tablica 1. Wyniki analizy sygnału przyspieszenia drgań (a , m/s^2) w kierunku X, na biegu 5.

Nr skrz	X AVE	X RMS	P-P	K	C	I	k	Rodzaj uszkodzenia
1	30,4	39,4	373	1,29	4,38	5,66	3,88	uzębienie 2 biegu
2	36,6	46,9	410	1,28	4,31	5,53	3,44	bicie koła (57) prz. gł.
3	34,8	45,0	401	1,29	4,19	5,42	3,72	uzębienie 4 biegu
4	34,0	44,0	432	1,29	4,36	5,64	3,72	łożysko kulkowe
5L	29,1	43,4	554	1,49	5,90	8,80	9,31	uzęb. koła prz. gł. (16)
6	44,4	59,0	582	1,33	4,86	6,46	4,60	wadliwy montaż stosu
7	28,5	38,5	543	1,35	5,93	8,02	6,03	wadliwy montaż MR
8	31,8	41,3	507	1,30	4,52	5,88	4,64	bicie koła 5 biegu
9	31,9	42,1	489	1,32	4,78	6,31	4,65	wadliwy montaż MR
10L	22,4	30,9	443	1,37	6,81	9,38	6,74	uzębienie 3 biegu
11	40,4	53,3	653	1,31	6,17	8,13	4,70	bicie koła 1 biegu
12	32,1	40,9	365	1,27	4,11	5,25	3,67	uzębienie 1 biegu
13	36,5	46,2	368	1,26	3,73	4,71	3,13	łożysko stożkowe MR
14	28,9	36,8	319	1,27	3,88	4,95	3,48	brak
15	24,3	31,4	336	1,29	5,29	6,83	3,94	brak
16	22,9	29,0	286	1,26	4,93	6,25	3,40	brak
17	20,3	26,6	301	1,31	5,82	7,62	4,08	brak
18	26,2	34,5	354	1,31	4,84	6,38	4,84	skrzyw. wał. 0,2mm
19	24,8	31,6	315	1,27	4,49	5,71	3,49	skrzyw. wał. 0,45mm
20	30,2	39,2	360	1,30	4,97	6,46	3,96	uzębienie 5 biegu
21	31,9	43,6	552	1,36	6,58	8,99	6,11	bicie tulei I/II biegu
22	26,2	33,8	267	1,29	3,78	4,88	3,53	łożysko kulkowe
23L	41,2	66,2	958	1,60	6,87	11,02	10,7	uzębienie koła RM
24	35,9	46,2	433	1,28	4,76	6,13	3,87	uzębienie tulei I/II
25L	29,3	42,2	527	1,44	6,11	8,79	6,88	uszk. 2 zęby koła 5 b.
	30,0	39,0	350	1,35	6,00	8,00	4,50	wart. klasyfikatora

Tablica 2. Wyniki analizy sygnału ciśnienia akustycznego (p , Pa) zarejestrowane na biegu 5.

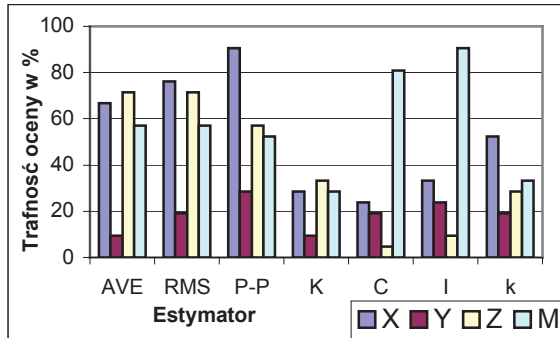
Nr	X AVE	X RMS	P-P	K	C	I	k	
1	0,99	1,25	10,5	1,26	4,55	5,76	3,21	uzębienie 2 biegu
2	0,99	1,25	11,8	1,26	4,65	5,87	3,29	bicie koła (57) prz. gł.
3	0,92	1,17	9,0	1,27	3,69	4,68	3,26	uzębienie 4 biegu
4	0,86	1,07	8,4	1,25	4,01	4,99	2,99	łożysko kulkowe
5L	1,29	1,81	22,9	1,40	6,26	8,78	6,86	uzęb. koła prz. gł. (16)
6	1,14	1,46	12,4	1,28	4,56	5,83	3,46	wadliwy montaż stosu
7	1,07	1,34	12,9	1,28	4,91	6,29	3,69	wadliwy montaż MR
8	1,25	1,58	15,9	1,27	4,43	5,63	3,49	bicie koła 5 biegu
9	0,88	1,12	8,9	1,27	4,12	5,23	3,27	wadliwy montaż MR
10L	0,78	1,05	15,1	1,34	7,17	9,60	6,58	uzębienie 3 biegu
11	1,20	1,52	13,4	1,26	4,76	6,01	3,31	bicie koła 1 biegu
12	1,08	1,36	11,1	1,25	4,57	5,74	3,08	uzębienie 1 biegu
13	0,78	0,98	7,9	1,26	4,17	5,26	3,16	łożysko stożkowe MR
14	0,61	0,77	6,0	1,25	3,74	4,69	3,04	brak
15	0,82	1,03	7,8	1,25	3,63	4,54	3,02	brak
16	0,94	1,18	9,7	1,26	3,77	4,76	3,23	brak
17	0,95	1,23	10,1	1,28	3,82	4,89	3,55	brak
18	1,15	1,45	11,4	1,27	3,97	5,03	3,23	skrzyw. wał. 0,2mm
19	1,08	1,37	11,6	1,27	3,95	5,01	3,24	skrzyw. wał. 0,45mm
20	0,97	1,26	12,9	1,30	5,85	7,61	4,08	uzębienie 5 biegu
21	1,10	1,43	15,9	1,30	5,91	7,67	4,10	bicie tulei I/II biegu
22	0,74	0,94	7,20	1,26	3,97	5,01	3,07	łożysko kulkowe
23L	1,12	1,66	24,2	1,48	7,75	11,5	9,80	uzębienie koła RM
24	1,04	1,35	12,3	1,29	5,05	6,54	3,85	uzębienie tulei I/II
25L	1,19	1,78	21,7	1,50	6,00	9,01	9,19	uszk. 2 zęby koła 5 b.
	1,00	1,30	12,0	1,30	4,00	5,00	3,80	wart. klasyfikatora

Obserwując zmiany wartości międzyszczytowej X_{P-P} przyspieszeń drgań w kierunku X oraz współczynnika impulsowości I wyznaczonego z sygnału akustycznego zarejestrowanego w polu bliskim można prawidłowo przeprowadzić ocenę wstępną aż 90 % badanych skrzyń.

Uznano również, że na uwagę zasługują te wartości estymatorów, które charakteryzują się ponad 50% wykrywalnością złego stanu skrzynki, a więc:

- wartość średnia X_{AVE} , skuteczna X_{RMS} oraz kurtoza k sygnału drganiowego w kier. X,
- wartość średnia X_{AVE} , skuteczna X_{RMS} oraz międzyszczytowa X_{P-P} sygnału drganiowego w kier. Z,
- wartość średnia X_{AVE} , skuteczna X_{RMS} , międzyszczytowa X_{P-P} oraz współczynniki szczytu C sygnału akustycznego w polu bliskim.

Wrażliwość diagnostyczna pozostałych estymat jest zbyt niska, by można było na ich podstawie dokonać klasyfikacji typu: *skrzynka dobra lub zła*.



Rys.6. Poprawność klasyfikacji skrzynek *dobra-zła* w zależności od wybranego estymatora liczbowego, prowadzonej w czasie testu na biegu 5:

AVE – wartość średnia, RMS – wartość skuteczna, P-P – wartość międzyszczytowa, K – wsp. kształtu, C – wsp. szczytu, I – wsp. impulsowości, k – kurtoza

X, Y, Z – obserwacja sygnału przyspieszenia drgań odpowiednio w kierunku x, y i z, M – obserwacja przebiegu ciśnienia akustycznego.

5. PODSUMOWANIE

Obserwując wartości opisanych w rozdziale 4.3 estymatorów punktowych wyznaczonych z szerokopasmowych przebiegów czasowych badanych sygnałów wibroakustycznych można z dużym prawdopodobieństwem właściwie określić poprawność wykonania i montażu skrzyń w warunkach produkcyjnych. Przedstawiony sposób oceny jakości skrzyń może okazać się zupełnie wystarczający dla potrzeb dokonania klasyfikacji: *produkt dobry - produkt zły*. Należy jednak pamiętać, że generowany przez skrzynkę przekładniową sygnał wibroakustyczny jest sumą efektów jednoczesnej pracy wielu elementów (koła zębate, wałki, łożyska), które dodatkowo wzajemnie się zakłócają. Dlatego też w niektórych przypadkach ocena taka może być nieprawidłowa. Wydaje się więc konieczne dalsze poszukiwanie innych, bardziej zaawansowanych metod analizy sygnałów, które znacznie zwiększą dokładność oceny i jednocześnie umożliwią wnioskowanie o przyczynach wystąpienia usterki. Aktualnie trwają prace nad wykorzystaniem takich technik jak:

- analiza funkcji korelacji własnej i wzajemnej,
- analiza częstotliwościowa,
- analiza obwiedni sygnału w połączeniu z fft,
- analiza cepstrum sygnału,
- analiza sygnałów w pasmach częstotliwości zorientowanych uszkodzeniowo.

6. LITERATURA

- [1]. Boczkowski A.: *Sposób oceny jakości wykonania samochodowych skrzyń przekładniowych w warunkach przemysłowych*. Materiały IV Szkoły Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji. Jurata 15-19 maja 2000. Str. 355-361.
- [2]. Boczkowski A.: *Analiza wrażliwości diagnostycznej wybranych ocen sygnałów wibroakustycznych w dziedzinie czasu na przykładzie samochodowych skrzyń przekładniowych*. Materiały XI Konferencji „Diagnostyka Maszyn Roboczych i Pojazdów” i „III Forum Młodych 2002”. Bydgoszcz – Borówno, 13-15 czerwca 2002.
- [3]. Cempel Cz.: *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*. WNT Warszawa 1982.
- [4]. Kaźmierczak J., Boczkowski A. (Silesian Technical University, Gliwice), Świerczek T., Cichowski A. (Fiat Auto Poland S.A., Bielsko Biała): *A conception of the method of testing gears for the automotive industry*. 32nd ISATA Conference. 14-18 June 1999 Vienna.
- [5]. Żółtowski B., Ćwik Z.: *Leksykon diagnostyki technicznej*. Wydawnictwa uczelniane ATR Bydgoszcz. Warszawa 1996.



Mgr inż. Arkadiusz Boczkowski w roku 1999 ukończył studia dzienne na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej i został zatrudniony jako asystent w Katedrze Podstaw Systemów Technicznych na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki

Śląskiej w Gliwicach. Jego zainteresowania naukowe skupiają się wokół takich zagadnień jak: metody diagnostyki wibroakustycznej maszyn i urządzeń, ochrona środowiska przed drganiami i hałasem oraz miernictwem i systemami pomiarowymi. Na Wydziale Organizacji i Zarządzania prowadzi działalność dydaktyczną i naukową. Mgr inż. Boczkowski jest autorem ponad 20 publikacji naukowych prezentowanych na konferencjach krajowych i zagranicznych oraz w czasopiśmie fachowych, jest współautorem książki wydanej przez WNT z serii CAD/CAM pt. *Wspomaganie konstruowania układów biernej redukcji drgań i hałasu maszyn* oraz współautorem blisko 10 ekspertyz i prac badawczych dla przemysłu. Posiada otwarty przewód doktorski na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Robotyki Akademii Górniczo Hutniczej w Krakowie.