

# Diagnostyka silnika synchronicznego oparta na rozpoznawaniu dźwięku z zastosowaniem FFT i GSDM

*Zamierzeniem pracy jest przedstawienie metody rozpoznawania dźwięku silnika synchronicznego wykorzystującej FFT i GSDM. Badania rozpoznawania dźwięków przeprowadzono dla silnika synchronicznego podczas pracy bez uszkodzeń, ze zwarcie zezwojów w obwodzie stojana, z jedną przerwą w obwodzie stojana i z trzema przerwami w obwodzie stojana. Wyniki badań potwierdzają dużą skuteczność rozpoznawania dźwięku w silniku synchronicznym.*

## 1. WSTĘP

---

Stosowanie analizy sygnałów dźwiękowych jest podejściem skutecznym, tanim i szybkim. Obecnie istnieje wiele metod rozpoznawania dźwięków [1-5]. Większość z nich jest oparta na przetwarzaniu danych. Celem artykułu jest analiza systemu umożliwiającego rozpoznawanie dźwięków w silniku synchronicznym. Zastosowano metody wstępnej obróbki danych, szybką transformację Fouriera i algorytm GSDM (genetycznie rozrzedzona pamięć rozproszona). W artykule przedstawiono budowę systemu automatycznego rozpoznawania dźwięków. Omówiono zastosowaną metodę i przedstawiono wyniki rozpoznawania dźwięków silnika synchronicznego.

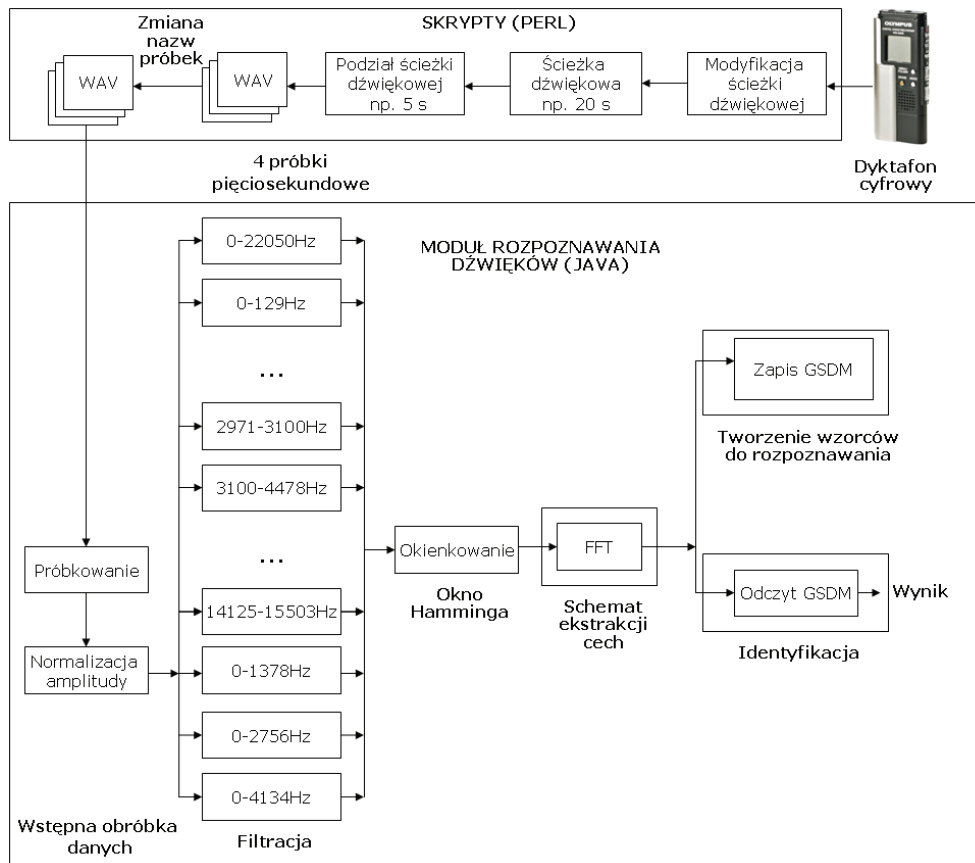
## 2. PROCES ROZPOZNAWANIA DŹWIĘKU

---

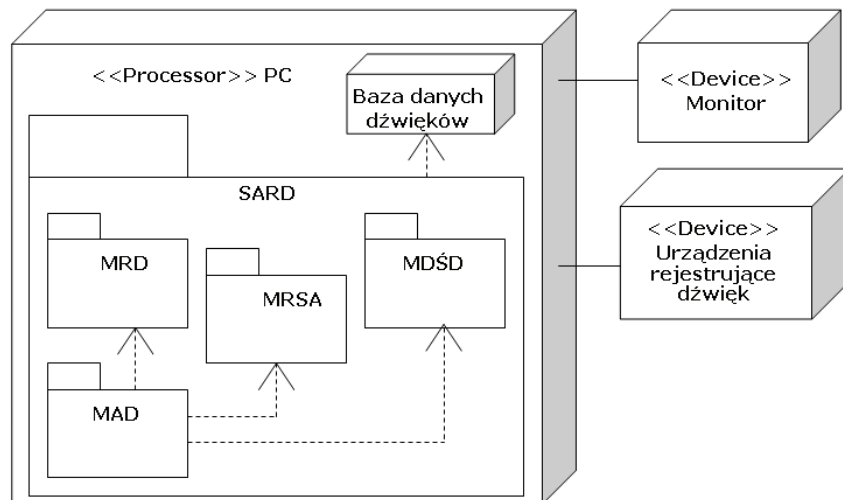
Proces rozpoznawania dźwięku składa się z procesu tworzenia wzorców do rozpoznawania (zapis GSDM) i procesu identyfikacji (odczyt GSDM). Na początku procesu tworzenia wzorców do rozpoznawania przeprowadza się kolejno próbkowanie, kwantyzację, normalizację amplitudy i filtrację [6]. Następnie wykonywane jest okienkowanie z zastosowaniem okna Hamminga. W kolejnym kroku dane są zamieniane przez algorytm FFT i otrzymywane jest

widmo częstotliwości danego dźwięku silnika synchronicznego dla każdej kategorii. Kolejno z tak otrzymanego widma częstotliwości tworzony jest wektor cech. Wektor ten może zawierać przefiltrowane widmo częstotliwości (np. harmoniczne z przedziału 129-258 Hz). Ostatnim etapem procesu tworzenia wzorców do rozpoznawania jest zapis GSDM. Proces identyfikacji zawiera następujące kroki: rejestracja sygnału akustycznego, podział ścieżki dźwiękowej, próbkowanie, kwantyzacja, normalizacja amplitudy, filtracja, okienkowanie, FFT, odczyt GSDM (rys. 1).

Diagram wdrożenia pokazuje fizyczną architekturę systemu automatycznego rozpoznawania dźwięku (rys. 2). Dla systemu rozpoznawania dźwięku interfejsami są monitor, mikrofon i karta dźwiękowa. System automatycznego rozpoznawania dźwięku (SARD) zawiera: moduł rozpoznawania dźwięku (MRD), moduł automatycznego działania (MAD), moduł dzielenia ścieżki dźwiękowej (MDŚD), moduł rejestracji sygnału akustycznego (MRSA). SARD korzysta z bazy danych dźwięków. Baza danych dźwięków stanów przedawaryjnych silnika synchronicznego została zbudowana na podstawie przeprowadzonych pomiarów. Baza danych dźwięków zawiera cztery kategorie: dźwięk silnika synchronicznego podczas pracy bez uszkodzeń, ze zwarcie zezwojów w obwodzie stojana, z jedną przerwą w obwodzie stojana, z trzema przerwami w obwodzie stojana. Takie przedstawienie struktury potrzebne jest



Rys. 1. Przepływ danych w procesie rozpoznawania dźwięku

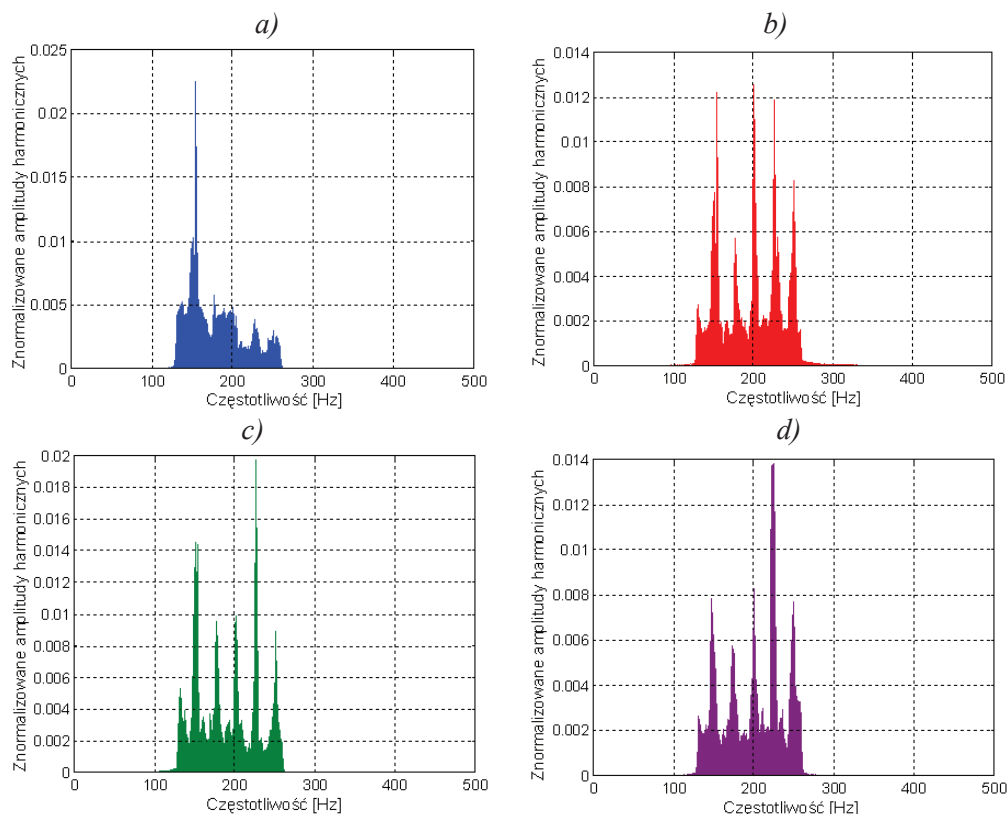


Rys. 2. Diagram wdrożenia systemu automatycznego rozpoznawania dźwięku

dla zrozumienia zasady działania systemu oraz poznania zależności pomiędzy jego pakietami. Moduł automatycznego działania składa się z komponentów, które automatycznie uruchamiają cały system (skrypty uruchamiające, skrypty przetwarzające dane, skrypty odpowiedzialne za modyfikacje formatu ścieżki dźwiękowej).

Moduł dzielenia ścieżki dźwiękowej składa się z pojedynczego komponentu odpowiedzialnego za

podział ścieżki dźwiękowej na fragmenty oraz przypisanie czasu pojawienia się każdej nowej próbie. Moduł rejestracji sygnału akustycznego składa się z komponentu do rejestracji sygnału akustycznego. Moduł rozpoznawania dźwięku jest odpowiedzialny za przetwarzanie, analizę i klasyfikację sygnału akustycznego. System taki można zastosować w innych problemach [7-9].



Rys. 3. Widmo częstotliwości próbki dźwięku o długości pięć sekund przy zastosowaniu normalizacji amplitudy, filtru przepuszczającego częstotliwości od 129 Hz do 258 Hz i FFT dla maszyny synchronicznej, a) bez uszkodzeń, b) ze zwartymi zezwojami stojana, c) z jedną przerwą, d) z trzema przerwami

### 3. SZYBKA TRANSFORMACJA FOURIERA

Szybka transformacja Fouriera ma za zadanie przekształcić wartości w dziedzinie czasu na wartości w dziedzinie częstotliwości. Szybka transformacja Fouriera jest bardzo efektywną operacją, jednak wektor próbek wejściowych musi mieć długość  $N = 2^k$ , gdzie  $k$  jest liczbą naturalną (rys. 3a, 3b, 3c, 3d).

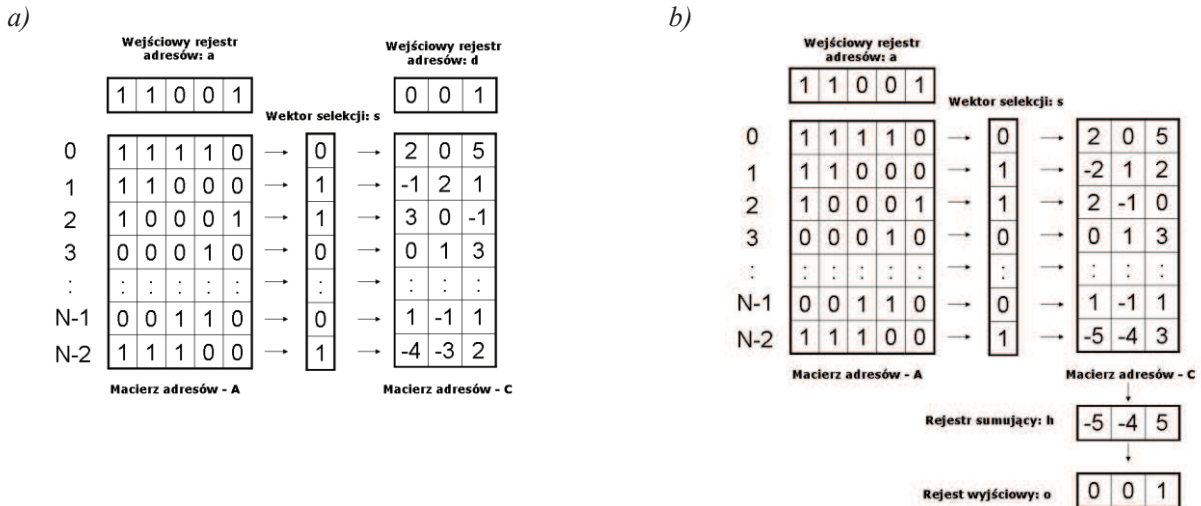
### 4. KLASYFIKACJA ALGORYTMEM GSDM

Genetyczna rozrzedzona pamięć rozproszona (ang. *Genetic Sparse Distributed Memory*) powstała przez połączenie pamięci SDM (ang. *Sparse Distributed Memory*) i algorytmu genetycznego. SDM przechowuje wzorce w celu ich późniejszego odtworzenia. Na wejście pamięci podczas operacji czytania podawany jest „klucz”, który jest jednym z wzorców zapisanych w pamięci. Wynikiem tego typu operacji jest wygenerowanie na wyjściu wzorca skojarzonego z „kluczem”. Kluczami są wektory wejściowe  $x^p$ , które są skojarzone z wektorami wyjściowymi  $y^p$ . Zadaniem systemu jest

zapamiętanie skojarzonych ze sobą zbiorów:  $\{(x^1, y^1), (x^2, y^2), (x^3, y^3), \dots\}$  i każdorazowe odtworzenie na wyjściu wzorca  $y^p$ , jeżeli na wejście podany zostanie wektor wejściowy  $x$ , najbardziej przypominający wektor  $x^p$  spośród wszystkich zapamiętanych wektorów wejściowych. W przypadku błędnego odtworzenia system może dawać na wyjściu wzorec inny niż  $y^p$ .

W pamięci GSDM (ang. *Genetic Sparse Distributed Memory*) czytanie danych przebiega tak samo jak w SDM. Inaczej pamięć działa podczas zapisu. Pamięć GSDM stosuje algorytm genetyczny. Algorytm ten różni się od klasycznego algorytmu genetycznego. Różnica polega na stosowaniu operatora genetycznego do różnych przypadków. Pamięć GSDM ma określoną liczbę komórek pamięci z  $N$  pustymi adresami i ich zawartościami. Adres  $p^k$  pary treningowej ( $p^k, d^k$ ) jest wysyłany do odpowiednich komórek pamięci skalkulowanych przez odległość Hamminga.

Zapis pamięci SDM polega na umieszczeniu danych wejściowych w macierzy przeciwnej  $C$  (rys. 4a). W macierzy tej magazynowane są dane. Rysunek 4b zawiera przykład ilustrujący operację czytania SDM z wejściową daną 001 zapisaną w poprzedniej operacji zapisywania [10, 11].



Rys. 4. Pamięć SDM

a) zapis danych do pamięci (odległość dostępu  $D=2$ ), b) operacja odczytu danych z pamięci

## 5. WYNIKI ROZPOZNAWANIA DŹWIĘKÓW

Maszyna synchroniczna pracowała jako silnik synchroniczny. Maszyna synchroniczna wytwarzała następujące dźwięki: dźwięk maszyny synchronicznej bez uszkodzeń, dźwięk maszyny synchronicznej ze zwartymi zezwojami, dźwięk maszyny synchronicznej z jedną przerwą, dźwięk maszyny synchronicznej z trzema przerwami. Zwarcie i przerwy zlokalizowano w obwodzie stojana. Zwarcie zrealizowano w fazie R, jedną przerwę również w fazie R, natomiast trzy przerwy w fazach R, S i T. Maszyna pracowała w stanie niewzbudzonej. Określono wartości napięcia międzyprzewodowego stojana, prądu stojana, prędkości silnika i prądu wzbudzenia w czasie rejestracji dźwięków:

- dźwięk maszyny synchronicznej bez uszkodzeń,  $U_{RS}=100$  V,  $I_R=30,9$  A,  $n_N = 1500$  obr/min,  $I_w \approx 0$  A,
- dźwięk maszyny synchronicznej ze zwartymi zezwojami stojana,  $U_{RS}=100$  V,  $I_R=31,2$  A,  $n_N = 1500$  obr/min,  $I_w \approx 0$  A,  $R_z=2,5$   $\Omega$ ,
- dźwięk maszyny synchronicznej z jedną przerwą,  $U_{RS}=100$  V,  $I_R=24$  A,  $n_N = 1500$  obr/min,  $I_w \approx 0,3$  A,
- dźwięk maszyny synchronicznej z trzema przerwami,  $U_{RS}=100$  V,  $I_R=36$  A,  $n_N = 1500$  obr/min,  $I_w \approx 0,245$  A,

gdzie:

$U_{RS}$  – napięcie międzyprzewodowe stojana pomiędzy fazami R i S,

$I_R$  – prąd fazy R,

$I_w$  – prąd wzbudzenia,

$n_N$  – znamionowa prędkość wirnika,

$R_z$  – rezystancja zwierająca.

Skuteczność rozpoznawania dźwięków określona została następująco:

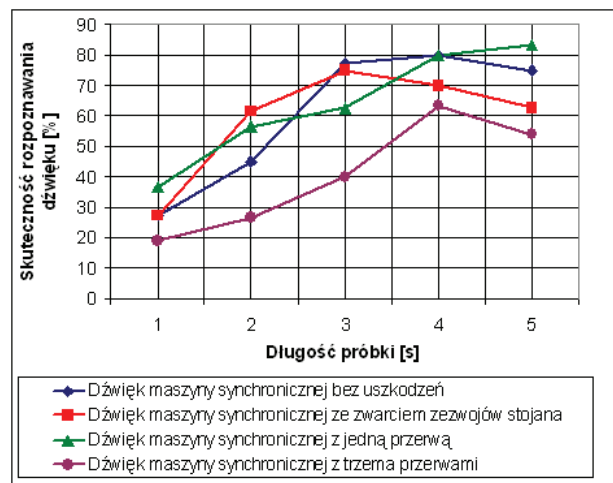
$$E = N_1 / N \quad (1)$$

gdzie:

$E$  – skuteczność rozpoznawania dźwięku,

$N_1$  – liczba poprawnie zidentyfikowanych próbek danej kategorii,

$N$  – liczba wszystkich próbek danej kategorii biorących udział w identyfikacji.



Rys. 5. Skuteczność rozpoznawania dźwięku maszyny synchronicznej w zależności od długości próbki do identyfikacji, przy zastosowaniu normalizacji (0-22050 Hz), algorytmów FFT i GSDM

Różnica między dźwiękami polega na różnicach w uporządkowanej sekwencji. Mechanizm wczesnej detekcji uszkodzeń został zbudowany

w celu eliminowania zagrożeń. Pomiary zostały wykonane dyktafonem OLYMPUS WS-200S (100-15000 Hz) i mikrofonem OLYMPUS TP-7 (50-20000 Hz) z kartą dźwiękową komputera. W badaniach stosowano szybką transformację Fouriera z rozmiarem okna 512. Badania zostały przeprowadzone dla 39 filtrów pasmowoprzepustowych, normalizacji amplitudy, szybkiej transformacji Fouriera i GSDM. Próbkki były różnej długości od 1 do 5 sekund. W badaniach zmieniano odpowiednio wartość odległości Hamminga dla określonych kombinacji filtrów. Umożliwiało to prawidłowe działanie pamięci. Najlepsze wyniki uzyskano, gdy stosowano normalizację bez filtracji (rys. 5).

Wyniki otrzymane przy zastosowaniu algorytmu FFT, GSDM i normalizacji dają skuteczność rozpoznawania na poziomie od 27,5 do 83,33% dla próbek o długości 1-5 sekund. Skuteczność rozpoznawania dla próbek czterosekundowych była najlepsza.

Dziesięć próbek pięciosekundowych użyto w procesie tworzenia wzorców do rozpoznawania dla każdej kategorii. Nowe, nieznanie systemowi próbkki były stosowane w procesie identyfikacji. Dla procesu identyfikacji długość próbek wynosiła od 1 do 5 sekund.

## 6. PODSUMOWANIE

Celem współczesnych metod diagnostycznych jest obniżenie ryzyka awarii maszyn elektrycznych. Rosnąca potrzeba na programistyczne wsparcie systemów diagnostycznych jest przesłanką do podejmowania badań, których celem jest wytworzenie odpowiednich narzędzi oraz ich eksperymentalna weryfikacja. Jest to szczególnie ważne dla zminimalizowania kosztów związanych z eksploatacją maszyn elektrycznych.

System rozpoznawania dźwięków zbudowano dla maszyny synchronicznej. Analiza badań pokazuje wrażliwość metody opartej na FFT i GSDM w zależności od danych wejściowych. Badania potwierdzają, że GSDM działa niezawodnie dla różnych danych wejściowych. Najlepsze wyniki otrzymano dla próbek czterosekundowych. Na procesorze Pentium M 730 czas identyfikacji jednej pięciosekundowej próbki z zastosowaniem normalizacji, FFT i GSDM wynosi 0,704 s. Dla próbki jednosekundowej czas ten wynosi 0,640 s.

## Literatura

1. *Mitrovic D., Zeppelzauer M., Eidenberger H.*: Analysis of the Data Quality of Audio Features of Environmental Sounds, *Journal of Universal Knowledge Management*, vol. 1, no. 1 (2006), 4-17.
2. *Yoshii K., Goto M. and Okuno H. G.*: Drum Sound Recognition for Polyphonic Audio Signals by Adaptation and Matching of Spectrogram Templates With Harmonic Structure Suppression, *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, Vol. 15, No. 1, January 2007, 333-345.
3. *Dubois D., Guastavino C.*: Cognitive evaluation of sound quality: Bridging the gap between acoustic measurements and meanings, *Proceedings of 19th International Congress on Acoustics - ICA07*, September 2-8 2007, Madrid, Spain.
4. *Lee K.*: Effective Approaches to Extract Features and Classify Echoes in Long Ultrasound Signals from Metal Shafts, Ph. D. dissertation, Brisbane, Australia, 2006.
5. *Kinnunen T., Karpov E., Fränti P.*: Real-Time Speaker Identification and Verification, *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, Vol. 14, No. 1, 277- 288, Jan 2006.
6. *Pasko M., Walczak J.*: Teoria Sygnałów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2007.
7. *Głowacz Z., Zdrojewski A.*: Analiza spektralna sygnałów silnika komutatorowego prądu stałego zasilanego ze źródła napięcia stałego, *Przegląd Elektrotechniczny*; 82 (2006) nr 11, 76-79.
8. *Głowacz A.*: Rozpoznawanie dźwięków maszyny prądu stałego z zastosowaniem LPC i algorytmu wstecznej propagacji błędów, *Materiały konferencji: Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w Górnictwie (ATI 2008)*, Szczyrk, 28-30 Maj 2008, 223-230.
9. *Tadeusiewicz R.*: Speech recognition versus understanding of the nature of speech deformation in pathological speech analysis (Abstract), *Archives of Acoustics*, vol. 28, No. 3, 2003, pp. 260.
10. *Fan K.-C., Wang Y.-K.*: A Genetic Sparse Distributed Memory Approach To The Application Of Handwritten Character Recognition. *Pattern Recognition*, Volume 30, Number 12, December 1997, pp. 2015-2022(8).
11. *Mizera P.*: Rozpoznawanie mówcy z wykorzystaniem GSDM, Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, Kraków 2006.

Recenzent: dr inż. Antoni Zdrojewski