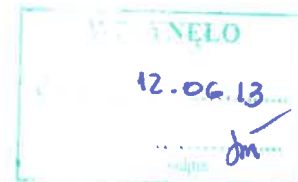


Kraków, 8 czerwca 2013.

Marek Skomorowski (dr hab. inż.)  
Instytut Informatyki  
Uniwersytetu Jagiellońskiego



### Recenzja rozprawy doktorskiej

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgra inż. **Adama Głowacza** zatytułowana

**Komputerowe techniki analizy informacji zawartej w sygnałach akustycznych maszyn elektrycznych dla celów diagnostyki stanów przedawaryjnych.**

Przewód doktorski jest prowadzony na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Recenzja została napisana na podstawie zlecenia Dziekana Wydziału, Pana dra hab. inż. Antoniego Cieśli, prof. AGH (pismo 199/13 z dnia 30 kwietnia 2013).

#### 1. Zawartość rozprawy.

##### 1.1. Omówienie ogólne i teza rozprawy.

Recenzowana rozprawa dotyczy zastosowania metod i narzędzi informatyki do analizy sygnałów akustycznych generowanych przez maszyny elektryczne. Celem tej analizy jest wykrywanie (rozpoznawanie) stanów bezpośrednio poprzedzających ewentualne awarie maszyn elektrycznych.

Uważam, że problematyka rozprawy ma istotne znaczenie aplikacyjne.

W rozdziale 1 Autor uzasadnił podjęcie tematyki będącej przedmiotem rozprawy, przedstawił jej zakres i sformułował następującą tezę (strona 12): **zastosowanie algorytmów rozpoznawania umożliwia użycie metod analizy sygnału akustycznego do efektywnej diagnostyki stanów przedawaryjnych maszyn elektrycznych.** W celu wykazania słuszności tak sformułowanej tezy Autor sformułował kilka celów badawczych wymienionych na stronie 11.

W rozdziale tym został opisany również stan wiedzy na temat problematyki będącej przedmiotem rozprawy. Na stan tej wiedzy składają się także wyniki badań przedstawione w kilku publikacjach, których Autor rozprawy jest współautorem, co świadczy o tym, że ma on już pewne osiągnięcia naukowe w tym zakresie.

W rozdziale 2 opisane zostały, na podstawie literatury:

1. Techniki analizy informacji zawartej w sygnałach akustycznych: rejestracja, filtracja, próbkowanie i kwantyzacja.
2. Metody przetwarzania i ekstrakcji cech sygnału akustycznego.
3. Wybrane metody klasyfikacji sygnałów akustycznych.

W rozdziale tym Autor zaproponował oryginalną metodę ekstrakcji cech sygnału akustycznego opartą na wyborze amplitud dla częstotliwości związanych z typem maszyny elektrycznej. Zaproponował również oryginalne metody klasyfikacji oparte na słowach i sieci neuronowej z kodowaniem ASCII sygnałów wyjściowych. Oryginalny jest także zaproponowany plan badań sygnałów akustycznych w celu wykrywania stanów poprzedzających ewentualne awarie maszyn elektrycznych. Plan tych badań jest szczegółowo przedstawiony na rys. 2.7 na stronie 42 i stanowi punkt wyjścia do zaprojektowania i realizacji komputerowego stanowiska do badania sygnałów akustycznych maszyn elektrycznych.

W rozdziale 3 został opisany projekt stanowiska do badania sygnałów akustycznych maszyn elektrycznych. Opis ten uwzględnia warunki zastosowania zaprojektowanego stanowiska, wyposażenie techniczne i informatyczne, sposób łączenia sprzętu i oprogramowania niezbędnego do analizy sygnałów akustycznych dla stanów poprzedzających ewentualne awarie maszyn elektrycznych. W rozdziale tym został opisany również system automatycznego rozpoznawania prądu, który jest wykorzystywany do weryfikacji rozpoznawania sygnałów akustycznych. Rozdział ten zawiera elementy oryginalnej pracy naukowej Autora, sprowadzające się do zaprojektowania i realizacji stanowiska do badania sygnałów akustycznych maszyn elektrycznych, niezbędnego do realizacji sformułowanych celów badawczych.

W rozdziale 4 zostały opisane przeprowadzone przez Autora badania, których celem było wybranie najlepszego (najbardziej skutecznego) wariantu metod ekstrakcji cech i rozpoznawania sygnałów akustycznych dla danej maszyny elektrycznej. Przedstawione wyniki kilkudziesięciu eksperymentów, polegających na badaniu różnych metod ekstrakcji cech i rozpoznawania w zależności od długości (czasu trwania) próbek sygnału akustycznego, umożliwiły obserwację skuteczności rozpoznawania. Na tej podstawie można stwierdzić jaki wariant metod i dla jakiej długości próbek sygnału akustycznego jest najlepszy. Przeprowadzone badania wykazały, że w sygnale akustycznym jest zawarta informacja o bieżącym stanie maszyny elektrycznej, co oznacza możliwość nadzorowania maszyn elektrycznych w celu rozpoznawania stanów bezpośrednio poprzedzających ich ewentualne awarie. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów zostały zweryfikowane zarówno za pomocą Matlab, jak również metodą badania prądów wzbudzenia i twornika maszyn elektrycznych. Przeprowadzona weryfikacja potwierdza poprawne rozpoznawanie stanu maszyny elektrycznej za pomocą zaproponowanych przez Autora metod analizy sygnałów akustycznych. Rozdział 4 stanowi oryginalną pracę Autora.

W rozdziale 5 Autor zaproponował projekt urządzenia monitorującego maszynę elektryczną w stanie pracy (w ruchu). Urządzenie to ma być, zdaniem Autora, małe, tanie, przenośne i bezprzewodowe. Jest to projekt oryginalny ale nie został jeszcze zrealizowany i zweryfikowany w praktyce.

Rozdział 6, będący podsumowaniem i zapowiedzią dalszych badań kończy rozprawę. Bibliografia rozprawy liczy 122 pozycje. Rozprawa zawiera 4 dodatki, wykaz rysunków i wykaz tabel. Rozprawa liczy 154 strony.

## 2. Omówienie wyników rozprawy.

### 2.1. Uwagi pozytywne.

- 2.1.1. Uważam, że problematyka recenzowanej rozprawy ma istotne znaczenie poznawcze i aplikacyjne, co uzasadnia prowadzenie badań w tym zakresie.
- 2.1.2. Opis stanu wiedzy w zakresie problematyki będącej przedmiotem rozprawy jest wystarczający.
- 2.1.3. W rozprawie zaproponowano **oryginalny wkład naukowy** w zakresie problematyki będącej przedmiotem rozprawy. Na wkład ten składają się przede wszystkim:
- Opracowanie metod analizy informacji zawartej w sygnałach akustycznych maszyn elektrycznych dla stanów bezpośrednio poprzedzających ewentualne ich awarie. Metody te sprowadzają się do rejestracji sygnałów akustycznych, filtracji, normalizacji amplitudy, segmentacji, okienkowania, ekstrakcji cech i rozpoznawania (klasyfikacji).
  - Przeprowadzenie analizy sygnałów akustycznych, na podstawie której możliwe jest konfigurowanie metod ich przetwarzania w celu uzyskania najlepszej skuteczności klasyfikacji dla danej maszyny elektrycznej.
  - Projekt i realizacja stanowiska diagnostycznego do badania sygnałów akustycznych maszyn elektrycznych.
  - Projekt urządzenia monitorującego maszynę elektryczną w stanie pracy (w ruchu).

### 2.2. Uwagi krytyczne i pytania.

Po przeczytaniu rozprawy mam następujące uwagi krytyczne i pytania:

- 2.2.1. Pierwsza uwaga krytyczna jest natury redakcyjnej i dotyczy braku konsekwencji w zapisie odwoływania się do wzorów, na przykład na stronie 35 wszystkie odwołania do wzorów są ujęte w nawiasy: (2.18), (2.19) i (2.21), a na stronie 29 wszystkie odwołania do wzorów występują bez nawiasów: 2.5, 2.6. 2.7.
- 2.2.2. Druga uwaga krytyczna dotyczy następującego zdania (strona 32): „Algorytm ten jest skuteczny, ponieważ potrzebuje tylko  $M^2$  mnożeń, aby wyliczyć współczynniki filtra predykcji liniowej  $a_1, \dots, a_p$  (złożoność obliczeniowa wynosi  $O(N^2)$ ). Zamiast „skuteczny” powinno być „efektywny” dlatego, że złożoność obliczeniową algorytmu opisuje „efektywność”, a nie „skuteczność”, którą Autor zdefiniował na stronie 43 wzorem (2.29) w następujący sposób:

$$E = \frac{N_1}{N} \cdot 100 \%$$

gdzie  $E$  – skuteczność rozpoznawania sygnału akustycznego (prądu wzbudzenia, twornika),  $N_1$  – liczba poprawnie zdefiniowanych próbek danej kategorii,  $N$  – liczba wszystkich próbek danej kategorii biorących udział w procesie identyfikacji.

- 2.2.3. Pierwsze pytanie dotyczy tego, co Autor miał na myśli pisząc następujące zdanie, rozpoczynające rozdział 2 na stronie 19: „Technika jest określonym wzorcem postępowania” ?
- 2.2.4. Drugie pytanie dotyczy następującego zdania na stronie 34: „W pracy doktorskiej rozważana jest jedna maszyna danego typu z ograniczoną liczbą stanów przedawaryjnych”. W związku z tym chciałbym zapytać ile jest tych stanów przedawaryjnych dla tej maszyny ?
- 2.2.5. Trzecie i ostatnie pytanie dotyczy następującego fragmentu tekstu w podsumowaniu na stronie 113: „Wypracowane w dysertacji podejście może być, pomimo wskazanych ograniczeń, stosowane również w przypadku innych obiektów technicznych generujących sygnały akustyczne. Można przyjąć, że środowisko do badania będzie w stanie wypracować użyteczne wyniki dla szerokiego wachlarza urządzeń mechanicznych, hydraulicznych, czy pneumatycznych”. W związku z tym chciałbym zapytać dlaczego można przyjąć, że zaproponowane przez Autora podejście będzie użyteczne dla innych urządzeń technicznych ? Pytanie to jest istotne w kontekście pewnych ograniczeń zaproponowanego przez Autora podejścia. O ograniczeniach tych nie napisałem w recenzji dlatego, że Autor przedstawił je w rozprawie.

### 3. Podsumowanie

Podsumowując, uważam, że recenzowana rozprawa doktorska zawiera istotny oryginalny wkład naukowy wymieniony w punkcie 2.1.3 i spełnia warunki Ustawy o stopniach i tytule naukowym. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie Pana mgra inż. Adama Głowacza do dalszych faz przewodu doktorskiego.

Równocześnie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Adama Głowacza.

*Marek Szymonowski*