

dr hab. inż. Jacek Dziurdź
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Politechnika Warszawska

Warszawa, 13.10.2024 r.

Recenzja pracy doktorskiej
Pana mgr. inż. Piotra Kiliana
pt.: „Metodyka określania systemu identyfikacji węgiel-skała”
(promotor: dr hab. inż. Krzysztof Kalinowski, prof. PŚ)

Wykonano na zlecenie
Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej

1. Wstęp

Wprowadzenie mechanizacji i automatyzacji do procesu produkcyjnego umożliwiło uzyskanie wyższych efektów ekonomicznych. Stało się to szczególnie istotne w górnictwie węgla kamiennego, w którym zaszło wiele pozytywnych zmian związanych z restrukturyzacją, ale jednocześnie wiele czynników, nie związanych bezpośrednio z wydobyciem, wymusiło podjęcie dalszych działań w celu zwiększenia efektywności i minimalizacji kosztów.

Mechanizacja wydobycia węgla kamiennego była możliwa dzięki rozwojowi informatyki, robotyki oraz układów sterownia. W pierwszej kolejności objęła środki transportu ludzi i urobku, a następnie w coraz większym stopniu została wprowadzona w najistotniejszej fazie produkcji – urabianiu węgla w przodkach. Powstały systemy monitoringu pracy elementów systemów wydobywczych oraz infrastruktura przesyłania danych. Archiwizacja tych danych daje możliwość przeprowadzenia analiz, na podstawie których można podjąć próby optymalizacji, prowadzącej do zwiększenia efektywności wydobycia i zmniejszenia kosztów.

Zastosowanie kombajnów do urobku węgla zwiększyło znacznie tempo wydobycia, ale jednocześnie pojawiły się inne problemy. W zależności od warunków górniczo-geologicznych, pokłady węgla mogą mieć różną wysokość oraz różne ułożenie względem sąsiadujących skał. Różny też bywa stopień zaburzenia podkładu. Przy wydobyciu ręcznym górnik mógł rozróżnić

czy urabiany jest węgiel czy też skała. Zastąpienie bezpośredniego kontaktu człowieka z urabianym przodkiem przez układ mechaniczny, który w zależności od warunków może pracować z dużymi prędkościami przesuwu, utrudnia kontrolowanie składu urobku. Duża ilość skał w stosunku do wydobywanego węgla powoduje spadek efektów ekonomicznych. Z tego powodu podjęcie problemu identyfikacji i rozróżniania urobku węgla od urobku skały należy uznać za zasadne.

2. Ogólne omówienie pracy

Przesłana do oceny rozprawa doktorska została napisana w języku polskim, wydrukowana na 116 stronach i organizacyjnie podzielona na 10 rozdziałów głównych, z których każdy zawiera rozbudowany system podrozdziałów. Tekst został uzupełniony 41 rysunkami i 14 tabelami z wynikami. Zamieszczony spis literatury zawiera 120 pozycji i nie budzi zastrzeżeń co do doboru materiałów źródłowych. Streszczenia w języku polskim oraz angielskim zamieszczono na końcu rozprawy. Treść rozprawy poprzedzono spisem oznaczeń i symboli, spisem rysunków oraz tabel. Podział pracy można uznać za poprawny, choć być może za bardzo rozbudowano system podrozdziałów. Nie wpływa to jednak w znaczący sposób na czytelność pracy.

Autor w Rozdziale pierwszym, będącym wstępem do pracy, przedstawia ogólne problemy związane z wydobywaniem węgla kamiennego w Polsce, wynikających ze zmian gospodarczych oraz aktualnej sytuacji politycznej na świecie. Opisał wpływ idei „Przemysłu 4.0” na zmiany zachodzące w wykorzystaniu technik komputerowych, nie tylko w życiu codziennym, ale także w przemyśle. Prowadzi to do większego bezpieczeństwa oraz wzrostu wydajności produkcji. Dzięki temu, w zakładach wydobywających węgiel kamienny, można w czasie rzeczywistym uzyskać informacje o pracy urządzeń, działaniu systemów pomiarowych oraz jakości węgla. W dalszej części wstępu opisano stosowane w Polsce systemy mechanicznego urabiania węgla ze zwróceniem uwagi na istotne znaczenie systemów automatycznej pracy.

W rozdziale drugim Autor przedstawił cel i zakres pracy. Głównym celem pracy było opracowanie metody określania systemu rozpoznawania węgla i skały na podstawie rejestrowanego dźwięku urabiania w ścianie wydobywczej kopalni węgla kamiennego. Opisał cztery etapy prowadzące do stworzenia systemu identyfikacji węgiel-skała:

- dobór i przygotowanie odpowiedniej aparatury pomiarowej, dostosowanej do specyficznych warunków panujących w miejscu rejestracji dźwięku;

- dobór metod określania charakterystycznych cech zarejestrowanych próbek dźwiękowych;
- normalizacja danych oraz zastosowanie wybranych metod klasyfikacji, umożliwiających rozróżnienie warstw węgla i skały wraz z doбором odpowiednich wartości poszczególnych metod;
- przeprowadzenie testu niezależności chi-kwadrat Pearsona w celu zbadania powiązań między dwoma próbkami węgla i skały wykorzystując wartości amplitud otrzymanych z STFT dla wybranych częstotliwości.

W rozdziale trzecim Autor przedstawił podstawowe charakterystyki pokładów węgla. Opisał problem wydobywania węgla dla złóż o skomplikowanej budowie geologicznej (np. uskoki, wymycia, pofałdowania). Przedstawił elementy charakteryzujące pokład ze względu na jego parametry geometryczne. Opisał wpływ zaburzeń na zmiany parametrów geometrycznych oraz zmian jakości i własności fizykochemicznych węgla, a także skał otaczających pokłady. Przedstawił także współczynnik nieciągłości, którego wartość jest bardzo istotna przy określeniu ekonomicznie opłacalnej eksploatacji pokładu węgla.

Rozdział czwarty zawiera opis wybranych nieparametrycznych metod analizy sygnałów. Początek zawiera podstawowe pojęcia dotyczące sygnału, jego definicję oraz podział na sygnały zdeterminowane i losowe. Autor przedstawił podział cech sygnałów, dziedziny jego opisu oraz krótko scharakteryzował pojęcie estymatora. Kolejne podrozdziały zawierają opis:

- metod analizy w dziedzinie amplitudy;
- metod analizy w dziedzinie czasu;
- analizy sygnałów niestacjonarnych w dziedzinie częstotliwości, w tym analizy oparte na przekształceniu Fouriera, krótkoczasowym przekształceniu Fouriera oraz przekształceniu falkowym.

Informację zawarte w tym rozdziale zostały wykorzystane w proponowanym systemie identyfikacji węgiel-skała.

Rozdział piąty zawiera przegląd metod rozpoznawania granic warstw węgla i skały. W ramach procesu rozpoznania można wyróżnić najczęściej występujące etapy: gromadzenie danych, ekstrakcja cech i klasyfikacja wykorzystująca odpowiednio dobrane do zgromadzonych danych metody. W kolejnych podrozdziałach opisano:

- metodę wizyjną;
- metodę wykorzystującą georadar;
- metodę wykorzystującą występowania naturalnego promieniowania gamma;
- metodę wykorzystującą wibracje;

- metodę akustyczną;
- metodę wykorzystującą laserowo wzbudzaną spektroskopię emisyjną.

W rozdziale szóstym Autor zawarł wybrane metody klasyfikacji. Przedstawił definicję klasyfikacji oraz podział systemów klasyfikacji. W kolejnych podrozdziałach opisano:

- algorytm k -najbliższych sąsiadów;
- sieci maszyn wektorów własnych;
- „las” losowy;
- perceptron wielowarstwowy;
- miary jakości klasyfikacji.

Rozdział siódmy zawiera metody normalizacji danych.

Rozdział ósmy można potraktować jako główny rozdział pracy pt. „Opis metody badawczej”. Przedstawiono szczegółowy opisem realizacji metody badawczej podzielonej na dziewięć etapów. W tym rozdziale Autor przedstawił tezę pracy:

Na podstawie wybranych metod klasyfikacji: k -najbliższych sąsiadów (k -NN), maszyny wektorów nośnych (SVM), drzew losowych, perceptron wielowarstwowy (MLP), możliwe jest rozróżnienie dźwięku urabiania węgla lub skały.

W rozdziale tym można wyróżnić kilka części. Pierwsza obejmuje zagadnienia związane z rejestracją sygnałów będących podstawą przeprowadzonych analiz. Określono warunki pracy kombajnu ścianowego, opisano jego konstrukcję i zasadę działania. Ograniczenia wynikające z trudnych warunków występujących w trakcie wydobycia węgla narzucają specyficzne wymagania dotyczące zastosowanej aparatury pomiarowej. Autor opisał dostępne typy mikrofonów, podzielonych ze względu na sposób przetwarzania dźwięku na sygnały elektryczne, wraz z krótkim opisem zasady działania. Istotnym z punktu widzenia pomiarów w środowisku o dużej liczbie źródeł dźwięku jest charakterystyka kierunkowa zastosowanego mikrofonu. Na podstawie porównania czterech głównych charakterystyk kierunkowych oraz innych parametrów Autor dokonał wyboru mikrofonu kierunkowego do systemu pomiarowego. Do mikrofonu dobrał rejestrator dźwięku zapewniający wystarczającą dokładność rejestracji oraz odporność na panujące w kopalni wilgotność i zapylenie. Przedstawił także umiejscowienie mikrofonu względem kombajnu ścianowego. Druga część rozdziału dotyczy analizy widmowej. Przedstawiono dobór parametrów krótkoczasowej transformaty Fouriera (STFT), przeanalizowano wpływ długości okna czasowego oraz zastosowanego okna korekcji. Analizę wyników STFT podsumowano porównaniem wykresów przedstawiających uśrednione w czasie wartości amplitud w funkcji częstotliwości dla urabianego węgla i skały. W trzeciej

części rozdziału opisano przygotowanie bazy danych do programu WEKA, klasyfikację k-NN, klasyfikator SVM, klasyfikację Random Forest oraz klasyfikację MLP.

W rozdziale dziewiątym Autor przedstawił wyniki testu niezależności chi-kwadrat Pearsona dla wartości amplitud wybranych częstotliwości analiz STFT dla węgla i skały.

Na podstawie przeprowadzonych rozważań Autor przedstawił wnioski będące treścią ostatniego rozdziału, w którym także zawarł krótki opis możliwych prac do przeprowadzenia w przyszłości.

3. Uwagi krytyczne i zapytania

Staranna lektura rozprawy skłania do zgłoszenia kilku uwag, uwzględnienie których może poprawić jakość pracy, a które także można uwzględnić w przyszłych publikacjach:

- Nie jestem przekonany, czy przedstawienie tez rozprawy doktorskiej dopiero w rozdziale ósmym jest najlepszym rozwiązaniem.
- W podrozdziale 4.1, opisującym metody analizy w dziedzinie amplitudy, przedstawiono zagadnienia w bardzo uproszczony sposób. Wzór (5) dobrze by było uzupełnić rysunkiem z dodatkowym opisem, wyjaśniającym ideę stworzenia wzoru (np. tak jak to jest w pozycji 21 literatury). To samo dotyczy wzorów (6) i (7).
- Wzór (10) jest zależnością między funkcją koherencji zwyczajnej, a dwustronną gęstością widmową mocy (pod warunkiem uzupełnienia wykładnika o czas t), opiera się na całce Fouriera, ale nie jest bezpośrednim przejściem sygnału z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości.
- Należy się zastanowić jaki będzie miała wpływ na amplitudę składowej harmonicznej widma wysokość listka głównego h_g w zależności od zastosowanej korekcji okna (tabela 1).
- Jest nieścisłość w tekście „Dla skały płonnej którą jest mułowiec, łupek, lub piaskowiec wytrzymałość na ściskanie zawiera się w granicach 13÷35MPa, a dla węgla 5÷12 MPa... Wytrzymałość skał jest co najmniej dwa razy mniejsza od węgla”.
- Dla pozycji literatury 118-120 brak jest odwołania w tekście rozprawy.
- Wystąpiło kilka błędów w odwołaniu do rysunków np. 11 (str. 37), 22 (str. 68), 29 (str. 76-77), 38 (str. 90).
- Jak powinny być opisane osie na rysunku 15?
- Jakie zmienne i jednostki występują na osiach widm STFT?

Uwagi dotyczące zapisanych wzorów, związane głównie z brakiem przyjęcia jednoznacznego systemu oznaczeń:

- Czy zapis $E\{\dots\}$ we wzorach (2)-(3) dotyczy tego samego co zapis $E[\dots]$ we wzorach (6) i (7)?
- We wzorze (4) i w opisie powinna być ta sama litera opisująca liczebność próby (n lub N). Czy indeks i w tym wzorze jest niezbędny?
- Dziedziną funkcji rozkładu gęstości amplitud jest zbiór amplitud x , a nie x i t .
- Należy rozróżnić we wzorach opis sygnałów ciągłych (np. $x(t)$) od sygnałów dyskretnych (np. x_i). Dotyczy to między innymi wzorów (11) i (12), gdzie przekształcenie z dziedziny czasu i przekształcenie odwrotne powinno być jednoznaczne tak jak to jest we wzorach (13) i (14), oczywiście pod warunkiem uzupełnienia wykładnika we wzorze (14) o zmienną t . Przedstawione uwagi dotyczą także wzorów (15)-(18).
- Co oznacza zmienna T we wzorach (44)-(48).
- Czy wzór (61) jest tożsamy z ogólnie znanym pojęciem zmiennej harmonicznej? Uwaga dotyczy liczby 2 we wzorze.

Pozostałe uwagi dotyczące drobnych błędów np. „literówek”, braku jednostek w tekście czy interpunkcji pominąłem, jako najmniej istotne z punktu widzenia recenzji.

Po zapoznaniu się z recenzowaną pracą nasuwają się następujące pytania:

1. Co Autor pracy rozumie pod pojęciem sygnału niestacjonarnego?
2. Czy w celu sztucznego zwiększenia rozdzielczości czasowej stosuje się dodawanie zer do dyskretnego zapisu sygnału? Jeżeli tak to jaki to ma wpływ na uzyskane widmo Fouriera lub STFT?
3. Mam prośbę o dokładniejszy opis wyników zawartych w Tabeli 8. Dla ilu wymiarów były wyznaczone odległości? Dla jakiej wartości m wyznaczono miarę Minkowskiego?

4. Ocena końcowa

Przedstawione uwagi mają głównie znaczenie formalne, przydatne przy następnych publikacjach wyników pracy. Mogą być częściowo dyskusyjne, ale nie zmieniają faktu, że Autor wykazał się umiejętnością rozwiązania problemu naukowego mającego także zastosowanie aplikacyjne, które może prowadzić do realnych efektów ekonomicznych. Należy

zwrócić uwagę na trudne warunki pomiarów niezbędnych do wykonania pracy i ograniczenia w uzyskaniu większej liczby pomiarów.

Autor rozprawy potrafi poprawnie zaplanować i wykonać eksperymenty badawcze oraz przeprowadzić właściwą analizę wyników. Wykazał się wiedzą z zakresu badanych zjawisk.

Uważam zatem, że recenzowana praca doktorska Pana mgr. inż. Piotra Kiljana spełnia wymogi Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późniejszymi zmianami) dla dyscypliny naukowej Inżynieria Mechaniczna i stawiam wniosek o dopuszczenie Autora do publicznej obrony pracy doktorskiej.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long tail, positioned in the lower right quadrant of the page.