

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr. inż. Kingi Stecuły nt.: „**Metodyka oceny stopnia wykorzystania maszyn w procesie produkcji górniczej**”

Promotor: dr hab. inż. Patrycja Bąk

Promotor pomocniczy: dr inż. Magdalena Tutak

Podstawa opracowania: pismo RD(IMe) -11/2006/2020/2021 z dnia 5.11. 2019 r. Przewodniczącej Rady Dyscypliny, prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak

1. Zakres i charakterystyka rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa zawiera 140 stron, a w tym: 2 str. spisu treści, 17 str. spisu literatury (304 pozycje), 2 str. spisu rysunków; 1 str. spisu tabel; 2 załączniki (2 str.). Rozprawa składa się z 10 rozdziałów.

Uwaga: na ogół w pracy są także zamieszczenia streszczenia w j. polskim i w j. angielskim.

We wstępie – rozdział 1 Autorka rozprawy przedstawia genezę pracy podkreślając rolę i znaczenie dyspozytorskich systemów monitoringu, zintegrowanych z automatyzacją oraz sterowaniem ciągów produkcyjnych w kopalni. Dyspozytorzy korzystając z tych systemów obserwują zdalnie pracę maszyn i reagują w przypadku wystąpienia zakłóceń w ciągłości procesu wydobywczego. **Dane te są archiwizowane, ale nie są one na ogół wykorzystywane do pełniejszej analizy i poprawy stopnia wykorzystania maszyn będących w użytkowaniu w kopalni.** Należy jednak podkreślić, że produkcja górnicza odbywa się w złożonych, zmiennych i nieprzewidywalnych warunkach, co znacząco utrudnia ocenę oraz prognozowanie stanu maszyn i urządzeń technologicznych pracujących w kopalni.

Analizując ten problem Doktorantka doszła do trafnego wniosku, że „... istnieje luka poznawcza w zakresie metodyki oceny stopnia wykorzystania maszyn w procesie produkcji górniczej”. **W świetle analizy stanu wiedzy opracowanej przez mgr. inż. K. Stecułę, podjęcie tego problemu badawczego w ramach rozprawy doktorskiej uważam za trafne i w pełni uzasadnione.**

W rozdziale 2 zostały sformułowane cele, zakres i metody badań. W świetle przeprowadzonej analizy Doktorantka słusznie stwierdza, że „... istnieje zapotrzebowanie na prowadzenie badań zmierzających do opracowania nowej, dostosowanej do obecnego stanu techniki, metodyki oceny stopnia wykorzystania maszyn w procesie produkcji górniczej”. Przedstawione cele są odzwierciedleniem tego założenia.

Uwaga: głównym celem poznawczym, wg mnie, powinno być „opracowanie metodologii badań stopnia wykorzystania maszyn w produkcji górniczej”, bowiem metodyka jest określoną procedurą postępowania, wynikającą z przyjętej metodologii, będącej skutecznym sposobem dociekania sposobu rozwiązania określonego problemu badawczego. Analizując kolejne rozdziały rozprawy doszedłem do wniosku, że pani mgr K. Stecuła taką właśnie metodologię zaproponowała.

Zakres badań oraz metody i techniki badawcze zostały szczegółowo opisane, a całość została ujęta na rys.1.

Biuro Dziekana

03 12 2020

wpłynęło dnia

21 | RD | 006/

2020/2021

Uwaga: analizując rys.1 nasuwa się pytanie, czy nie występują „sprzężenia zwrotne” w sytuacji, kiedy w wyniku realizacji określonego etapu realizacji pracy może zachodzić konieczność powrotu (np. w celu uzupełnienia informacji) do któregoś z wcześniejszych etapów ?

Rozdział 3 (s.12 – s.23) zawiera dobrze wykonaną analizę procesu produkcji górniczej. Jej cechą charakterystyczną jest szeregowy system maszyn kompleksu ścianowego (rys.1). To także oznacza, że jest to układ o szeregowej strukturze niezawodnościowej, w którym awaria któregokolwiek elementu prowadzi do awarii całego systemu.

Doktorantka podkreśla również, że w ramach procesów produkcyjnych występuje szereg czynności, które są wykonywane na powierzchni, a każde z tych działań również „... wymaga zasilania w materiały, energię i informację...”.

Obszerną, dobrze usystematyzowaną analizę modeli procesów produkcyjnych i eksploatacyjnych przedstawiła Doktorantka w **rozdziale 4** (s.24 – s.41) W większości przypadków dominuje **model organizacyjno-techniczny KPI** (*Key Performance Indicators*) bazujący na zbiorze 71 wskaźników ekonomiczno-techniczno-organizacyjnych. Wykorzystywany jest także **model niezawodnościowy** oraz najczęściej stosowany **model efektywności eksploatacyjnej (OEE)** w ramach koncepcji *Total Productive Maintenance* (TPM).

W ramach TPM są stosowane trzy współczynniki do oceny efektywności eksploatacyjnej:

- współczynnik dostępności „D”, będący stosunkiem rzeczywistego czasu pracy maszyny do czasu planowanego;
- współczynnik wydajności „W”, będący ilorazem iloczynu liczby wyprodukowanych wyrobów i teoretycznego czasu trwania jednego cyklu produkcyjnego przez rzeczywisty czas pracy maszyny;
- współczynnik jakości „J”, odnoszący się do wyprodukowanych wyrobów i będący stosunkiem liczby wyrobów dobrych (bez defektów) do liczby wszystkich wyprodukowanych wyrobów.

Wskaźnik OEE jest określany ze wzoru: $OEE = D \cdot W \cdot J$

Doktorantka podaje i analizuje przykłady zastosowania modeli ocen procesów produkcyjnych i eksploatacyjnych w różnych branżach.

W podsumowaniu przeglądu i analizy literatury pani mgr K Stecuła dochodzi do wniosku, że „... w górnictwie węgla kamiennego brakuje obiektywnego i uniwersalnego sposobu oceny stopnia wykorzystania maszyn i urządzeń w procesie produkcji górniczej”.

Stwierdziła też, że wskaźnik OEE jest powszechnie stosowany do oceny wykorzystania maszyn, gdyż uwzględnia on najistotniejsze elementy związane z procesem produkcyjnym i obejmuje szerokie podejście do oceny efektywności maszyn i urządzeń. Dlatego też przyjęła – i moim zdaniem trafnie, że może on stanowić „... punkt wyjściowy do opracowania odpowiedniego modelu, służącego do oceny stopnia wykorzystania maszyn górniczych”.

W rozdziale 5 (s.42 – s.52) Doktorantka przedstawiła rozwój systemów monitorowania wybranych maszyn górniczych. Pierwotnie stosowano proste metody (przykład - chronometraż), następnie wprowadzono rejestratory – w tym rejestratory automatyczne (rejestratory poboru mocy) uzupełnione o urządzenia łączności głośnomówiącej, połączone ze stanowiskami kombajnowymi.

Następnym był system SCKOMB, który umożliwiał bieżącą kontrolę i rejestrację czasu pracy kombajnów przez stację rejestracyjną. Kolejnym był system kontroli pracy ścian z rejestracją: stanu załączenia maszyn, obciążenia kombajnu w ścianie, położenia krańcowego kombajnu i postępu w ścianie. Przesyłana była informacją z chodnika podścianowego na powierzchnię do urządzenia ATOS w dyspozytorni. System automatyzacji kompleksowej SMC-3 obejmuje nadzór

dyspozytorski, kontrolę stanu obiektu, raportowanie o przebiegu produkcji i chronometrażu pracy maszyn i urządzeń górniczych.

Obecnie monitorowanie procesów technologicznych w kopalniach jest realizowane na poziomie lokalnym i centralnym (dyspozytorskim). Różnorodność stosowanych systemów Doktorantka dość szczegółowo scharakteryzowała w podrozdziale „**opis stanu obecnego systemów monitorowania**” (rys.22 – rys.23). Przykłady systemów stosowanych w polskich kopalniach wraz z ich zwięzłym opisem zostały zestawione w tabeli 1.

W podsumowaniu tego rozdziału Doktorantka stwierdza jednoznacznie, że należy „... *wykorzystać potencjał tkwiący w systemach dyspozytorskich i generowanych przez nie danych. ... Takie rozwiązanie nie wiązałoby się z poniesieniem dodatkowych kosztów ze względu na wykorzystanie już funkcjonujących systemów... Korzystne byłoby zastosowanie tych danych jako podstawy do prowadzenia analiz i oceny stopnia wykorzystania maszyn*”.

Oceniając część rozprawy dotyczącą analizy literatury oraz zaawansowania prac w zakresie rozwoju systemów nadzorowania pracy maszyn i urządzeń górniczych stwierdzam, że jest to profesjonalnie opracowany materiał, świadczący o dużej wiedzy i rzetelności w przygotowaniu mgr. inż. Kingi Stec do podjęcia własnych badań.

Rozdział 6 (s.53 – s.79) obejmuje pogłębioną analizę przebiegu procesu produkcji węgla kamiennego w celu określenia czynników determinujących wykorzystanie wyposażenia technicznego. Analiza dotyczyła procesów produkcyjnych w czterech ścianach kopalni, dokumentów źródłowych, systemów monitorowania kopalń. Ponadto przeprowadziła wywiady z kadrą inżyniersko-techniczną kopalń, producentami maszyn i urządzeń górniczych oraz ekspertami ds. górnictwa. Do opracowania wyników Doktorantka skorzystała z metod statystycznych. Wyniki analiz zostały udokumentowane na rys. 38 – rys. 51.

Przeprowadzone badania i analizy były podstawą do wytypowania trzech grup czynników wpływających na wykorzystanie wyposażenia technicznego w przodkach wydobywczych. Są to:

- czynniki geologiczno-górniczne, związane z naturalnymi warunkami i zagrożeniami;
- czynniki techniczne, związane bezpośrednio z maszynami i urządzeniami;
- czynniki organizacyjne, związane z organizacją produkcji i czynnikiem ludzkim.

Pani mgr K. Stecuła stwierdziła, że chociaż (a może właśnie dlatego) ilość szczegółowych danych gromadzonych w systemach dyspozytorskich jest znaczna – wręcz ogromna, to jednak „...nie stosuje się żadnej miary, która odzwierciedlałaby rzeczywiste wykorzystanie wyposażenia technicznego kopalni”. **Potwierdza i uzasadnia to celowość opracowania odpowiedniej procedury – metodyki do dokonywania oceny wyposażenia technicznego w polskich kopalniach węgla kamiennego.**

W rozdziale 7 (s.80 – s.95) Doktorantka zaproponowała zbiór procedur postępowania do oceny stopnia wykorzystania maszyn w produkcji górniczej, które uwzględniają trzy zakresy, tj.: dostępność, wydajność i użyteczność.

Współczynnik dostępności „D” przyjęła jako stosunkiem sumy efektywnego czasu pracy w i-tych okresach obserwacji do sumy dyspozycyjnego czasu pracy w i-tych okresach obserwacji. Dni obserwacji odpowiadają dniom roboczym, a efektywny czas pracy jest monitorowany przez dyspozytorskie systemy monitorowania.

Współczynnik wydajności „W” zdefiniowała jako stosunek sumy rzeczywistego wydobycia w i-tych okresach obserwacji do iloczynu nominalnej (katalogowej) wydajności maszyny w ciągu doby przez liczbę obserwacji

W odniesieniu do wskaźnika użyteczności Doktorantka przeanalizowała to pojęcie prezentowane w literaturze i przez normę ISO 9241-11. Przeprowadziła także wywiady z kadrą

inżynierską kopalń oraz producentów maszyn i urządzeń górniczych. Na podstawie tej analizy stwierdziła, że „... obecnie użyteczność maszyn górniczych nie podlega żadnej ocenie”.

Pani mgr K. Stecuła zaproponowała nowe podejście do pojęcia użyteczności definiując je „... jako dopasowanie maszyny do warunków geologiczno-górniczych występujących podczas jej pracy oraz do potrzeb prowadzenia ruchu”. Etapy opracowywania metody oceny użyteczności maszyny górniczej na podstawie ankiet przedstawiła na rys. 53, a procedurę oceny użyteczności na rys. 54. Wszystkie oceny otrzymane od osób, które wypełniły kwestionariusze traktowała jako zbiór zmiennych, z których wyznaczyła wartość średnią arytmetyczną. Otrzymany wynik poddała normalizacji metodą „minimum-maksimum„(wzory 7.5 oraz 7.6), uzyskując liczbową wartość współczynnika użyteczności „U” w przedziale od 0 do 1.

Trafnie też stwierdziła, że wskaźnik OEE bazuje na średniej geometrycznej. Analizując i rozwijając to spostrzeżenie (zależności 7.8 – 7.17) opracowała zmodyfikowany, analityczny model wskaźnika wykorzystania maszyn górniczych w postaci (wzór 7.18):

$$Sw = D^{3p_1} \cdot W^{3p_2} \cdot U^{3p_3}$$

Wagi p_1, p_2, p_3 muszą odpowiednio dobrane, ale w świetle przeprowadzonych badań przez Doktorantkę „... przyjęcie z góry równości ważności współczynników dostępności, wydajności i użyteczności ... nie zostało podparte żadnymi badaniami, więc było nieuzasadnione” (oznaczałoby to, że wszystkie wagi są równe po 1/3).

W doborze wag Doktorantka skorzystała z ocen ekspertów. Słusznie też podkreśliła, że „... określenie wartości wag dla zakresu dostępności, wydajności i użyteczności wymaga podjęcia kilku decyzji...”. Jest to więc zagadnienie wielokryterialne, do którego opracowała algorytm wyznaczania wskaźnika wykorzystania maszyn górniczych (rys. 55).

Opracowany model i algorytm są podstawą do wspomagania decyzji odnośnie do poprawy konstrukcji maszyn, podejmowania racjonalnych decyzji odnośnie do wspomagania doboru maszyn i uzbrojenia technicznego dla stosowanych technologii górniczych.

W rozdziale 8 (s.96 – s.107) pani mgr Kinga Stecuła przedstawiła nową metodykę, wyniki badań i przykłady analiz wyznaczania wag zakresu dostępności, wydajności i użyteczności z zastosowaniem metody AHP (Analitycznego Procesu Hierarchicznego) dla kombajnu ścianowego. Etapy badań do wyznaczenia wag oraz opracowany arkusz porównań parami do metody AHP na przedstawiła na rys. 57 i rys. 58. Należy podkreślić, że charakterystyka metody AHP wraz odpowiednimi zależnościami matematycznymi zostały przedstawione w rozprawie jednoznacznie i zwięźle, co potwierdza bardzo dobre merytoryczne przygotowanie Doktorantki.

Uzupełnieniem, które wprowadziła Doktorantka, jest procedura obliczania wektora własnego macierzy porównań z uwzględnieniem wartości wag ocenianych wskaźników (tab.8). Ważnym aspektem jest również określenie liczebności próby losowej przy założonym błędzie - poziomie istotności α (wzór 8.6) oraz przykład wyliczenia dla $\alpha = 0,05$ (wzory 8.7 – 8.9).

W wyniku przeprowadzonych badań i wykonanych obliczeń (w programie MS Excel) Doktorantka wyznaczyła wskaźniki dla badanego kombajnu ścianowego pracującego w określonych warunkach geologiczno-górniczych, które wynoszą: **D = 0,6586; W = 0,6973; U = 0,7245** oraz współczynnik użyteczności **Sw = 0,3423**. Oznacza to, że stopień wykorzystania badanego kombajnu wynosi 34,23 %.

Opracowana przez mgr inż. K. Stecułę metodyka umożliwia stały monitoring pracy kombajnu oraz daje podstawę do podjęcia działań w kierunku zwiększenia stopnia jego wykorzystania. Przykłady zmiany wartości wskaźnika Sw w zależności od współczynnika dostępności przy jednakowych wartościach wag: $p_1 = p_2 = p_3 = 1/3$ zostały przedstawione na rys.64, a dla wartości uzyskanych w wyniku przeprowadzonych badań własnych:

$p_1 = 0,293$; $p_2 = 0,188$; $p_3 = 0,519$ na rys. 65 (zgodnie z opracowanym, nowym wzorem na współczynnik użyteczności).

Na podstawie tych badań mgr inż. K. Secuła zaproponowała metodykę wykorzystania wskaźnika Sw do doboru maszyn i urządzeń w procesie produkcji górniczej - **rozdział 9** (s.108 – s.115)). Metodyka umożliwia przedsiębiorstwu obliczenie współczynnika dostępności, wydajności i użyteczności maszyny. Producenci oraz użytkownicy maszyn mogą dokonywać oceny stopnia wykorzystania maszyn i urządzeń górniczych. Daje to podstawę do poprawy jakości tych urządzeń zgodnie z cyklem doskonalenia PDCA (*Plan - planuj, Do - wykonaj, Check sprawdź, Act – działaj*). Metodyka oceny stopnia wykorzystania maszyn w procesie produkcji górniczej (rys. 66) została wyczerpująco objaśniona, a jej uproszczony schemat został przedstawiony na rys. 67.

Rozprawę doktorską zamyka **rozdział 10 – podsumowanie i wnioski końcowe**. Sformułowane wnioski są odzwierciedleniem wykonanych badań i analiz.

Doktorantka proponuje również podjęcie dalszych rozwojowych, ukierunkowanych na:

- praktyczne zastosowanie opracowanej metodyki przez producentów maszyn i urządzeń górniczych;
- wzmocnienie przepływu danych i informacji dot. dostępności, wydajności i użyteczności maszyn górniczych między użytkownikiem maszyn a producentem;
- zwiększenie udziału użytkownika w projektowaniu maszyn górniczych poprzez wzmocnienie sprzężenia zwrotnego;
- zwiększenie poziomu wykorzystania maszyn górniczych w oparciu o wiedzę pozyskaną podczas realizacji kolejnych etapów opracowanej metodyki;
- tworzenie bazy wiedzy w zakresie wykorzystania maszyn górniczych.

Ze swej strony proponuję, aby rozważyć także podjęcie prac w zakresie:

- zastosowania zbiorów rozmytych do wyznaczania wskaźników wykorzystania maszyn w procesie produkcji górniczej;
- zastosowania sieci neuronowych – w tym systemów neuro-fuzzy do modelowania wymienionych wskaźników;
- opracowanie zaleceń do wykorzystania opracowanej metodyki w innych obszarach pracy maszyn i urządzeń, np. maszyn drogowych, budowlanych, itp.

Podsumowując całość badań i uzyskanych wyników stwierdzam, że zostały one wykonane i opracowane na bardzo dobrym poziomie. Istotną zaletą jest także weryfikacja zaproponowanej metodyki na przykładzie realnie pracujących maszyn i urządzeń górniczych w wytypowanej kopalni. Pani mgr inż. Kinga Stecuła potwierdziła, że jest bardzo dobrze przygotowana do realizacji prac badawczych.

2. Ocena metodologicznej i metodycznej koncepcji rozprawy doktorskiej

Na podstawie przedstawionej analizy rozprawy doktorskiej i procedury rozwiązywania zadań badawczych, **metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam jednoznacznie pozytywnie**, albowiem zawiera ona spójną merytorycznie analizę stanu wiedzy nt. dotychczas stosowanych metod i procedur stopnia wykorzystania maszyn w przemyśle górniczym, oraz opracowanie logicznych procedur do rozwiązania sformułowanego problemu.

3. Ocena końcowa rozprawy doktorskiej

Przedstawiona rozprawa doktorska należy do aktualnego i ważnego obszaru badawczego, związanego z metodologią i metodyką poprawy efektywności oraz bezpieczeństwa pracy w przemyśle wydobywczym. Praca zawiera oryginalne propozycje rozwiązań, które zostały przetestowane na podstawie danych przemysłowych.

Opracowanie edytorskie pracy jest bardzo staranne.

Opiniowana rozprawa doktorska, mieszcząca się w dyscyplinie „inżynieria mechaniczna” posiada oryginalne cechy nowości i znaczące walory użyteczne. W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr. inż. Kingi Stecuły zasługuje na wyróżnienie.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Kingi Stecuły nt.: „Metodyka oceny stopnia wykorzystania maszyn w procesie produkcji górniczej” spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki (ustawa z dnia 14 marca 2003 r., tekst ujednolicony z dnia 29 września 2014 r. wraz z rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r.) i wnoszę o dopuszczenie jej Autorki do publicznej obrony.

Kraków, dnia 30 listopada 2020 r.

