

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Niemca
pt. „Opracowanie metody identyfikacji przyczyn zmienności
wysokowydajnych ciągłych procesów produkcyjnych”

Podstawa opracowania recenzji: pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna, Prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak z dnia 22.12.2021 r. o powołaniu przez Radę Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej na recenzenta pracy doktorskiej mgr. inż. Krzysztofa Niemca pt.: Opracowanie metody identyfikacji przyczyn zmienności wysokowydajnych ciągłych procesów produkcyjnych. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Damian Krenczyk, prof. PŚ.

1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Przedmiotem opiniowanej rozprawy jest opracowanie metody doskonalenia wysokowydajnych ciągłych procesów produkcyjnych. Doktorant postawił sobie zadanie, iż planowana do opracowania metoda ma być oparta na analizie danych produkcyjnych i powinna zapewnić lepsze wykorzystanie dostępnych zasobów oraz zagwarantować wymaganą jakość produkowanych wyrobów. Celem użytecznym pracy jest opracowanie systemu doradczego, który będzie analizował pojawiające się symptomy związane z procesem produkcyjnym i identyfikował miejsca w procesie produkcyjnym, w których możliwe jest pojawienie się zakłóceń.

Temat pracy jest bardzo aktualny i poruszany w pracach badawczych wielu ośrodków naukowych na świecie. Obejmuje on bardzo ważne z naukowego i praktycznego punktu widzenia zagadnienie eksploatacji maszyn i urządzeń w zakładach przemysłowych. Cechą szczególną pracy jest jej zorientowanie na problemy praktyczne związane z zapewnieniem odpowiedniej wydajności i jakości procesów produkcyjnych. Identyfikacja przyczyn

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia ..07..11..2022.....
RD/ITE/46/51/2022 2 egzempl.
nr zał.

zmienności procesu produkcji papieru ma ogromne znaczenie dla efektywnej pracy przedsiębiorstwa i zapewnienie ciągłości jego produkcji. Z naukowego punktu widzenia wymaga prawidłowego wykorzystania nowoczesnych metod maszynowego przetwarzania dużych zbiorów danych oraz eksploracyjnej analizy tych danych. Oceniając wybór tematu rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Niemca należy stwierdzić, że jest on trafny i uzasadniony zarówno pod względem poznawczym jak i aplikacyjnym.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy

Przedstawiona do opinii rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Niemca składa się ze spisu zastosowanych skrótów, pięciu rozdziałów merytorycznych, bibliografii oraz streszczenia w języku polskim i języku angielskim. Rozprawa składa się z dwóch zasadniczych części. Część pierwsza obejmuje wstęp, zdefiniowanie celu pracy, analizę literatury dotyczącą tematyki rozprawy oraz opis procesu produkcyjnego. Część druga zawiera prezentację opracowanego modelu procesu produkcyjnego, opis proponowanej metody parametryzacji algorytmów identyfikacji symptomów i przyczyn zmienności oraz wyniki przeprowadzonej weryfikacji opracowanej metody.

W pierwszym rozdziale pracy przedstawiono obszar zaplanowanych badań oraz scharakteryzowano trendy rozwojowe przemysłu papierniczego. Opisano też wymagania dotyczące wydajności i jakości stawiane nowoczesnym procesom produkcji papieru. Na tej podstawie określono cel pracy, problem badawczy oraz zakres rozprawy. Jako główny cel pracy wskazano opracowanie metody doskonalenia wysokowydajnych procesów produkcyjnych z wykorzystaniem analizy danych produkcyjnych. Jako cel praktyczny wskazano opracowanie systemu doradczego, który będzie identyfikował pojawiające się symptomy i wskazywał miejsca, w których może nastąpić utrata wydajności i jakości analizowanego procesu produkcyjnego. Jako problem badawczy autor wskazał „dobór metod zgłębiania danych i eksploracyjnej analizy danych w projektowanej metodzie, pozwalających na skuteczne wykrywanie symptomów nadchodzących awarii, ukierunkowane na praktyczne zastosowanie”. Problem badawczy został określony prawidłowo, lecz niezbyt precyzyjnie. Nie wskazano, na czym polega w swojej istocie problem prawidłowego doboru metod zgłębiania danych oraz nie zdefiniowano pojęcia „skuteczne wykrywanie nadchodzących awarii”. W rozdziale pierwszym sformułowano prawidłowo tezę pracy, która brzmi następująco: „Wykorzystanie nowoczesnych metod numerycznych oraz przetwarzania maszynowego, które w sposób ciągły

są w stanie analizować proces, wielowymiarowo pozwoli na podjęcie decyzji o konieczności reakcji na nadchodzące zakłócenia”.

Drugi rozdział poświęcony jest analizie literatury związanej z pomiarami jakości produkowanych wyrobów, metodami sterowania procesami ciągłymi, analizą awarii występujących w procesach, metodami analizy danych produkcyjnych oraz metodami komputerowego wspomaganie analizy danych. Autor wykazał, iż prowadzone w różnych ośrodkach badawczych prace potwierdzają złożoność problemu identyfikacji symptomów świadczących o zbliżającej się awarii maszyn. Prawidłowo zauważono też brak metod pozwalających na szybką i skuteczną reakcję na pojawiające się ostrzeżenia. Zaproponowano, iż pierwszym etapem procesu zapobiegania awariom w procesie produkcji papieru będzie opracowanie metody identyfikacji symptomów wskazujących na możliwość wystąpienia awarii.

W ramach trzeciego rozdziału autor przedstawił model procesu produkcyjnego produkcji papieru na maszynie papierniczej. Produkcja papieru jest procesem ciągłym i w związku z tym jego zatrzymanie związane jest z dużymi stratami materiału znajdującego się w trakcie procesu produkcyjnego. W rozdziale tym Autor szczegółowo opisał parametry, które są mierzone w trakcie procesu produkcyjnego oraz algorytm sterowania predykcyjnego (Model Predictive Control). Zasada działania tego algorytmu opiera się na prognozowaniu wartości kontrolowanych zmiennych, obliczaniu wymaganych wartości sterujących oraz ciągłej aktualizacji działań kontrolnych.

W rozdziale czwartym prawidłowo przedstawiono autorską metodę identyfikacji symptomów nadchodzących awarii. Na rys. 4.1 przedstawiono proponowany schemat postępowania podczas analizy danych, a w podrozdziale 4.2.4 opisano formułę pozwalającą na identyfikację przedziałów czasowych prawidłowej pracy maszyny produkującej papier. Autor wyznaczył najczęściej produkowaną gramaturę papieru, okresy nieprzerwanej pracy maszyn, oraz liczbę i czasy zrywów papieru. Następnie przedstawił opracowany algorytm wykrywający symptomy o zbliżającej się awarii. Opracowanie tego algorytmu poprzedzone zostało poszukiwaniami miar powiązania pomiędzy wyselekcjonowanymi zmiennymi procesowymi. W tab. 4. 7 zamieszczono najmocniejsze dodatnie korelacje poszczególnych par parametrów, a na rys. 4.8 – 4.12 przedstawiono ich graficzną prezentację.

W celu przeprowadzenia klasteryzacji wykorzystano algorytm hierarchicznego klastrowania przestrzeni zmiennych na podstawie gęstości (algorytm HDBSCAN). Przeprowadzono próby z różnymi nastawami algorytmu HDBSCAN oraz oceniono wpływ

parametrów modyfikujących ten algorytm na otrzymywane wyniki. Przeprowadzono też wizualną ocenę wyników działania algorytmu obserwując rozpoznane klastry oraz sygnały zakwalifikowane jako szum (rys. 4.13, 4.14, 4.16, 4.18, 4.19, 4.21, 4.23, 4.25, 4.27).

Na podstawie danych dotyczących zrywania papieru i postojów maszyn opracowano moduł programu pozwalający na wykrywanie momentu pojawienia się zjawiska zrywu oraz przeprowadzono badania związane z identyfikacją przyczyn występowania zakłóceń i anomalii. Przeprowadzone testy działania systemu detekcji zakłóceń we wstędze papieru (systemu SODDIP) potwierdziły prawidłowość działania opracowanego algorytmu. System prawidłowo zareagował na 12 zrywów papieru spośród 63 awarii występujących w analizowanym okresie. Autor nie wskazał jednoznacznie liczby awarii, które związane były ze zrywem. Stwierdził jedynie, iż nie wszystkie awarie były związane z analizowaną w ramach pracy częścią moką maszyny. Prawidłowo poddał analizie działanie opracowanego systemu i stwierdził, iż nie wszystkie sygnały zrywu mogły zostać zidentyfikowane, ponieważ nie zawsze zjawisko zrywu ma swoje podłoże w czynnikach procesowych. Stwierdzono też, iż uzyskana efektywność systemu (około 37% prawidłowo zidentyfikowanych zrywów) spełnia oczekiwania partnera przemysłowego.

W podrozdziale 4.5 opisano opracowany model części mokrej maszyny z wykorzystaniem regresji liniowej. Model ten został następnie wykorzystany do predykcji wartości gramatury papieru i pozwolił na wcześniejszą reakcję na zakłócenia, które nie doprowadzały bezpośrednio do zrywu papieru, lecz mogą wpływać na jakość produkowanego papieru.

W podsumowaniu czwartego rozdziału przedstawiono główne etapy proponowanego podejścia do parametryzacji algorytmów wykrywających zakłócenia w procesie produkcyjnym (rys. 4.38) oraz schemat opracowanej metody identyfikacji symptomów do poszukiwania przyczyn zakłóceń. Opracowana metoda odnosi się do konkretnej maszyny papierniczej pracującej z określonymi parametrami technologicznymi. Autor nie wskazał precyzyjnie, czy opracowana metoda może być zastosowana do innych rodzajów maszyn. Stwierdzono jedynie, że opisane podejście jest możliwe do zastosowania w innej jednostce produkcyjnej, która posiada te same podzespoły, co omawiana maszyna. Należy zaznaczyć, iż opracowana funkcja identyfikacji symptomów pozwala na budowę systemu komputerowego, który będzie mógł w sposób automatyczny analizować dane produkcyjne i wspomagać podejmowanie decyzji serwisowych.

W ramach rozdziału piątego przedstawiono komputerową implementację opracowanego systemu detekcji zakłóceń w procesie produkcji papieru (SODDIP) z wykorzystaniem środowiska Python oraz GUI Anaconda 2.0.3. Z wykorzystaniem opracowanego oprogramowania przeprowadzono badania weryfikujące. Testowy zestaw danych zawierał 7 257 600 rekordów. Po przeprowadzeniu badań okazało się, że opracowany system prawidłowo zgłosił 6-7 przypadków, po których nastąpił zryw papieru. W jednym przypadku system zasygnalizował awarię, mimo, że ta nie miała miejsca.

Partner przemysłowy zdecydował się na wdrożenie opracowanego rozwiązania. Wskazano, iż zakładana skuteczność na poziomie 27% przekładać się będzie na oszczędność czasu produkcyjnego w wysokości 0,8%, co pozwoli na ograniczenie kosztów na poziomie 2 184 000 euro rocznie (przy aktualnej cenie papieru 600 euro za tonę). Autor wskazał, iż system został przetestowany w warunkach zbliżonych do rzeczywistości.

3. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Do uwag dyskusyjnych i krytycznych zaliczyłbym:

1. Problem badawczy został określony prawidłowo, lecz niezbyt precyzyjnie. Autor wskazał, iż „Problem badawczy **dotyczy doboru metod** zgłębiania danych i eksploracyjnej analizy danych w projektowanej metodzie, **pozwalających na skuteczne wykrywanie symptomów nadchodzących awarii**, ukierunkowane na praktyczne ich zastosowanie”. Nie wskazano, na czym polega w swojej istocie **problem prawidłowego doboru metod zgłębiania danych** oraz nie zdefiniowano pojęcia „skuteczne wykrywanie nadchodzących awarii”.
2. W rozdziale pierwszym sformułowano prawidłowo tezę pracy „**Wykorzystanie nowoczesnych metod numerycznych oraz przetwarzania maszynowego**, które w sposób ciągły są w stanie analizować proces wielowymiarowo, **pozwoli na podjęcie decyzji o konieczności reakcji na nadchodzące zakłócenia**”. W treści pracy oraz w podsumowaniu nie potwierdzono jednak precyzyjnie tego stwierdzenia. W podsumowaniu autor stwierdził, iż opracowany system posiada skuteczność na poziomie 27%. Należy się zgodzić, iż nawet taka skuteczność może przełożyć się na wymierne oszczędności dla przedsiębiorstwa. Ale nie oznacza to, że zdefiniowana teza została udowodniona.
3. W ramach rozdziału drugiego przedstawiono analizę literatury dotyczącej tematu pracy doktorskiej. Na rys. 2.1 przedstawiono ogólny schemat procesu produkcji papieru.

Autor nie przedstawił źródła tego rysunku. Podobna uwaga dotyczy pozostałych rysunków w tym rozdziale (2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.7, 2,9).

4. Podrozdział 2.4.1 zatytułowany został „Sieci neuronowe w badaniach przemysłowych”. Autor opracował ten rozdział w sposób bardzo pobieżny i nie przedstawił praktycznych zastosowań sztucznych sieci neuronowych w badaniach przemysłowych. Niektóre sformułowania w tym podrozdziale są też niezrozumiałe. Na przykład w sformułowaniu „Nadal jest jednak niemożliwym w pełni pokryć wszystkie możliwe zrywy w części mokrej maszyny” autor nie wyjaśnił, co oznacza pojęcie „pokrycie wszystkich możliwych zrywów”. W sformułowaniu „W omawianej pracy spośród wielu zmiennych podano jedynie statystycznie istotne równania regresji liniowej” nie wyjaśniono, jaka praca jest omawiana. Autor nie wyjaśnił też bardzo ciekawej koncepcji Adaptacyjnego Sieciowego Systemu Wnioskowania Rozmytego (ANFIS Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Stwierdzono tylko, iż zarówno rozwiązanie to „integruje sieci neuronowe, jak i zasady logiki rozmytej, ma możliwość wykorzystania zalet obu w ramach jednej struktury”.
5. Autor wskazał, iż „w początkowej fazie przeglądu dostępnych metod analizy danych wybrał algorytm klasteryzacji DBSCAN”. Wybrany algorytm DBSCAN należy do grupy algorytmów uczenia nienadzorowanego. Jest on stosowany w sytuacjach, gdy nie jest znany wzór do nauczenia. W trakcie uczenia system samodzielnie poszukuje wzorców i odnajduje relacje. W dalszej części pracy wskazano jednak, iż dysponowano bardzo dużym zbiorem danych uczących. Powstaje pytanie, dlaczego nie wykorzystano algorytmów uczenia nadzorowanego.
6. Autor wskazał, iż „metodę można łatwo dostosować i zaimplementować na innych maszynach o podobnej budowie lub przenieść na inną część technologiczną”. Autor nie wyjaśnił co rozumie przez pojęcie „łatwo dostosować”. Jakie trudności trzeba pokonać w przypadku potrzebny dostosowania metody do innych maszyn? Autor nie określił jakie maszyny mogą mieć „podobną budowę” oraz nie wyjaśnił co oznacza pojęcie „przenieść na inną część technologiczną”.

7. Oceniana praca została wykonana w ramach projektu „Doktoraty wdrożeniowe - rozwój innowacyjnych technologii Przemysłu 4.0”. Autor wskazał, iż „Wyniki badań przedstawione w rozprawie doktorskiej są rezultatem prac badawczych prowadzonych ... we współpracy firmy Valmet Automation Sp. z o.o i Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej. W ramach pracy opracowano

i przetestowano bardzo interesujący i innowacyjny system detekcji zakłóceń w procesie produkcji papieru. Obszar badań był bardzo obszerny i realizowany był wspólnie z partnerem przemysłowym. Autor wskazał, iż opracowany system został przetestowany w warunkach zbliżonych do rzeczywistości. Jak jeden z najważniejszych rezultatów pracy wskazano weryfikację opracowanego systemu w warunkach przedwdrożeniowych i uzyskanie 6 stopnia TRL. W pracy nie wskazano precyzyjnie, czy wszystkie wykonane badania i testy zostały przeprowadzone osobiście przez autora, czy też były one realizowane wspólnie z pracownikami firmy Valmet Automation Sp. z o.o..

4. Końcowa ocena rozprawy

Końcowa ocena rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Niemca jest pozytywna. Autor wykazał się teoretyczną i praktyczną wiedzą z zakresu budowy i eksploatacji maszyn, analizy procesów produkcyjnych oraz zagadnień związanych z doskonaleniem zarządzania jakością w przedsiębiorstwie produkcyjnym.

Przedstawione w rozprawie badania stanowią oryginalny wkład w rozwój wiedzy w zakresie opracowania metody identyfikacji przyczyn zmienności ciągłych procesów produkcyjnych. Ważnym elementem pracy są przeprowadzone prace weryfikacyjne potwierdzające możliwość praktycznego wykorzystania opracowanego rozwiązania.

Ważnym osiągnięciem pracy jest holistyczne podejście do zagadnień związanych z nadzorowaniem procesów produkcyjnych ze szczególnym uwzględnieniem maszyn przeznaczonych do produkcji papieru. Zastosowana w pracy metoda badawcza, opierająca się na analizie studium przypadku jest trudna w stosowaniu, wymaga dużego zaangażowania od prowadzącego badania, konsekwencji i umiejętności metodycznego prowadzenia badań oraz analitycznego myślenia.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Niemca w pełni spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Andrzej Jardzioch, prof. ZUT

Szczecin 03.03.2022

