KDJ JMe · 3 · 1 · 2023

Prof. dr hab. inż. Anna Burduk

Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Laserowych, Automatyzacji i Organizacji Produkcji
e-mail: anna.burduk@pwr.edu.pl

Wrocław 24.11.2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Barbary Balon pt. „Harmonogramowanie procesów produkcyjnych z zastosowaniem współdzielonego rejestru zasobów zorganizowanego w oparciu o założenia Technologii Blockchain"

Promotor: dr hab. inż. Krzysztof Kalinowski, prof. PŚ

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Iwona Paprocka, prof. PŚ

Recenzję sporządzono na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynierii Mechanicznej Politechniki Śląskiej, prof. dr. hab. inż. Ewy Majchrzak: pismo z dnia 28.09.2023 r.

I. OGÓLNA OCENA ROZPRAWY I ZNACZENIE TEMATYKI

Recenzowana praca została napisana w języku polskim i liczy 157 stron maszynopisu. Składa się ze spisu treści, dziesięciu rozdziałów do których zaliczono również wstęp, wnioski z badań oraz podsumowanie i kierunki dalszych prac badawczych. Na końcu pracy umieszczono jeden załącznik (zawierający przykładowy zapis informacji w blockchain) oraz spis literatury, spis rysunków i tabel.

Praca napisana została w języku polskim w sposób bardzo staranny i poprawny. W pracy nie znaleziono błędów ortograficznych, gramatycznych i stylistycznych. Występują jedynie pojedyncze błędy literowe.

Układ pracy jest poprawny i odpowiada wymogom stawianym rozprawom doktorskim. Tytuły poszczególnych rozdziałów odpowiadają ich zawartości. Dyskusyjny może być jedynie podział treści pracy na poszczególne rozdziały. Autorka, wydaje się niepotrzebnie, zaliczyła wstęp, wnioski z badań oraz podsumowanie i kierunek dalszych prac badawczych do rozdziałów pracy. Konsekwencją tego jest podział rozprawy na aż 10 rozdziałów i wynikające z tego nieprawidłowe ich zbilansowanie objętościowe. Przykładowo rozdział piąty liczy 37 stron, a rozdział dziesiąty jedynie 4 strony.

Rozprawa doktorska podejmuje, bardzo ważną dla poprawy efektywności współczesnych przedsiębiorstw, problematykę harmonogramowania i współdzielenia zasobów produkcyjnych w sieciach przedsiębiorstw. Autorka, zgodnie z najnowszymi trendami rozwojowymi, rozpatruje problem współdzielenia zasobów w wirtualnym środowisku produkcyjnym wykorzystując do tego modele cyfrowe rozbudowane o informacje potrzebne do harmonogramowania produkcji. O kompleksowym ujęciu tematyki rozprawy doktorskiej świadczy uwzględnienie i rozwiązanie problemów związanych z bezpiecznym przechowywaniem i efektywną analizą danych cyfrowych. Zaproponowana koncepcja metody harmonogramowania produkcji i zarządzania zasobami produkcyjnymi z użyciem Technologii Blockchain pozwala na szybki i efektywny przydział zasobów produkcyjnych do zadań oraz zapewnia bezpieczeństwo danych przedsiębiorstw. Zaproponowane

Biuro Dziekana
wpłynęło dnia 27.11.2023
RD JMe/300/5/1/2023
nr ..... zał. .....

rozwiązanie z pewnością można również uznać za nowy, wysoki poziom transparentności i bezpieczeństwa w przechowywaniu i dystrybucji danych przemysłowych.

Dlatego uważam, że tematyka recenzowanej rozprawy doktorskiej jest ważna, aktualna i w pełni uzasadniona z naukowego punktu widzenia oraz odpowiada na potrzeby współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych. Wyniki przedstawionych badań wnoszą znaczący wkład w rozwój efektywnych metod harmonogramowania produkcji oraz zarządzania współczesnymi przedsiębiorstwami produkcyjnymi, odpowiadając na potrzeby Przemysłu 4.0 i 5.0. Tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się merytorycznie w zakres dyscypliny Inżynieria Mechaniczna (dawniej Inżynieria Produkcji).

Rozpatrywane w rozprawie doktorskiej zagadnienia badawcze świadczą o jej interdyscyplinarności. Tematyka rozprawy leży w obszarze co najmniej dwóch dyscyplin naukowych: Inżynierii Mechanicznej (dawniej Inżynierii Produkcji) oraz Informatyki Technicznej i Telekomunikacji. O bardzo dobrej znajomości tematyki badawczej świadczy wykorzystanie w części przeglądu literatury aż 227 pozycji literaturowych. W większości literatura jest anglojęzyczna i pochodzi z ostatnich 3 lat. Na podkreślenie zasługują też umiejętności praktycznego wykorzystania wyników badań przez mgr inż. Barbarę Balon, co zostało udowodnione poprzez opracowanie prototypu platformy internetowej współdzielenia zasobów produkcyjnych.

II. OCENA MERYTORYCZNA I UWAGI KRYTYCZNE

We **wstępie**, będącym pierwszym rozdziałem pracy, przedstawiono problematykę harmonogramowania i efektywnego wykorzystania zasobów produkcyjnych, w kontekście coraz powszechniejszego funkcjonowania współczesnych przedsiębiorstw produkcyjnych w przestrzeni wirtualnej. Wskazano również możliwości oraz zagrożenia z tym związane. Oprócz wykazanej potrzeby podjęcia tematyki badawczej zamieszczono również ogólną strukturę pracy z podziałem na treści poszczególnych rozdziałów.

Uwaga 1. W rozprawie brak słownika pojęć i terminów. Dla pojęć używanych po raz pierwszy zastosowano czytelne przypisy dolne. Niemniej jednak wyróżniony słownik pojęć i terminów ułatwiłby czytanie pracy.

Rozdział **drugi** i **trzeci** stanowi przegląd literatury w obszarach tematycznych rozprawy doktorskiej. W rozdziale **drugim** przedstawiono zagadnienia związane z cyfryzacją przemysłu, inteligentnego podejścia do zarządzania produkcją i jego związku z Technologią Blockchain. Scharakteryzowano również zagadnienia planowania i harmonogramowania produkcji. W moim odczuciu, prezentowane w rozdziale treści potraktowano jednak bardzo ogólnie. Mimo, że tematyka rozdziału jest bardzo szeroka, rozdział liczy jedynie 14 stron maszynopisu. Autorka nie odniosła również prezentowanych zagadnień do aktualnego stanu i kierunków badań. W rozdziale **trzecim** opisano zagadnienia związane z Technologią Blockchain. Oprócz definicji, genezy powstania, budowy i architektury, w bardzo interesujący i pełny sposób, przedstawiono problematykę i potencjał rozwojowy tej technologii w odniesieniu do inżynierii produkcji. Na podkreślenie zasługuje bardzo przejrzysty i umiejętny sposób prezentowania zagadnień oraz bardzo duża liczba najnowszych pozycji literaturowych którą Autorka cytuje prezentując poszczególne zagadnienia.

Uwaga 2. Rozdział drugi zatytułowano „Analiza stanu wiedzy w obszarze inteligentnej produkcji, harmonogramowania procesów produkcyjnych i współdzielonych rejestrów danych". Rozdział obejmuje jedynie 14 stron maszynopisu. W mojej opinii tytuł rozdziału jest mylący ponieważ przedstawiono w nim głównie zagadnienia związane z transformacją cyfryzacją przedsiębiorstw

produkcyjnych. Pominięto wiele ważnych aspektów związanych ze stanem wiedzy w wymienianych w tytule rozdziału.

Pytanie 1. Jakie metody zaliczane do sztucznej inteligencji są najczęściej wykorzystywane w optymalizacji czasów realizacji harmonogramów produkcyjnych i czy jest możliwe ich zastosowanie w proponowanej w rozprawie metodzie?

Uwaga 3. Podrozdział 2.5 rozdziału drugiego pracy przedstawia wybrane zagadnienia planowania i harmonogramowania procesów produkcyjnych. Jego pierwszą część (punkt 2.5.1) zatytułowano „Planowanie procesów produkcyjnych". Niestety pominięto wiele zagadnień związanych z planowaniem produkcji, przedstawiając w pięciu akapitach (1,5 strony) ogólny podział planowania na strategiczny, taktyczny i operacyjny.

Pytanie 2. Czy Technologię Blockchain można zastosować również na innych poziomach planowania produkcji?

Uwaga 4. Ostatnią część podrozdziału 2.5 (punkt 2.5.3) poświęcono zagadnieniom komputerowego wspomagania harmonogramowania produkcji. Prezentowane treści są jednak w dużej części nieaktualne. Świadczy o tym zarówno treść jak i cytowana literatura. Najnowsza cytowana w tym podrozdziale pozycja literaturowa pochodzi z 2014 r.

Uwaga 5. Punkt 3.3 rozdziału trzeciego zawiera bardzo krótkie (opisane zazwyczaj na 1/3 strony) wyjaśnienia dwunastu pojęć związanych z Technologią Blockchain. Ponieważ pojęcia te są używane w dalszej części pracy, w mojej opinii, powinien zostać utworzony odrębny słownik. Z jednej strony ułatwiałoby to czytanie pracy, a z drugiej spowodowałoby lepsze zbilansowanie jej treści. Rozdział trzeci liczy 28 stron, natomiast rozdział drugi jedynie 14 stron maszynopisu.

Pytanie 3. Czy przedsiębiorstwa chcące korzystać z Technologii Blockchain muszą dostosowywać lub zmieniać konfigurację swoich systemów informatycznych? Jaki zakres powinien być ewentualnej ingerencji?

Pytanie 4. Jakie rodzaje kosztów dostosowawczych muszą ponieść przedsiębiorstwa, aby wdrożyć Technologię Blockchain?

Uwaga 6. Rozdział trzeci zakończony jest podsumowaniem i wnioskami z przeprowadzonych analiz literatury. Szkoda, że Autorka nie podsumowała w ten sposób pozostałych rozdziałów w pracy.

W rozdziale **czwartym** przedstawiono cel naukowy, cel utylitarny oraz zakres pracy. Cel naukowy zdefiniowano jako „opracowanie metody doboru zasobów do zadań i oceny zasobów produkcyjnych w oparciu o współdzielony rejestr, umożliwiającej automatyzację harmonogramowania". Za główny cel utylitarny przyjęto „utworzenie prototypowej, internetowej platformy współdzielonego rejestru zasobów produkcyjnych działającej na zasadach blockchain". Ponadto zdefiniowano następujące utylitarne cele cząstkowe:

- „opracowanie metody zautomatyzowanego wyszukiwania zasobów produkcyjnych umieszczonych we współdzielonej bazie danych blockchain;
- opracowanie modeli przydzielania zadań do zasobów (maszynowych, ludzkich);
- opracowanie schematu interakcji współdzielonego rejestru danych blockchain z programem do harmonogramowania produkcji (KbRS);
- opracowanie platformy w środowisku internetowym z użyciem języka programowania Python w oparciu o założenia Technologii Blockchain, której celem jest gromadzenie i dystrybucja danych produkcyjnych w konsorcjum przedsiębiorstw".

Sposób sformułowania celu naukowego, celów utylitarnych jak i określenie zakresu pracy jest prawidłowe i nie budzi zastrzeżeń.

W rozdziale **piątym** opisano, w sposób bardzo przejrzysty, profesjonalny i świadczący o dużej wiedzy Autorki, koncepcję współdzielonego rejestru zasobów produkcyjnych bazującą na sieci korporacyjnej. Przedstawiono model środowiska produkcyjnego oraz model współdzielonego rejestru zasobów ludzkich i zasobów maszynowych. Zaproponowano metodykę budowy sieci planowania produkcji i zarządzania współdzielonymi zasobami produkcyjnymi oraz metodykę budowy konsensusu z zastosowaniem Technologii Blockchain. Na podkreślenie zasługuje fakt, że prezentowane treści rozdziału zilustrowano licznymi, bardzo starannymi i czytelnymi schematami graficznymi. Ponadto, w bardzo adekwatny do zdefiniowanego problemu badawczego sposób, dobrano i przedstawiono weryfikacje na numerycznych przykładach praktycznych.

Pytanie 5. Na stronie 54, Autorka stwierdza, że „W tradycyjnym podejściu do harmonogramowania wymagane jest każdorazowe odpytywanie kontrahentów o bieżący stan zasobów, co z uwzględnieniem poziomu złożoności praktycznych zadań harmonogramowania znacznie utrudnia proces doboru zasobów i w praktyce niemal uniemożliwia jego optymalizację". W jaki sposób rozumiane jest w tym kontekście „każdorazowe odpytywanie kontrahentów" i czy nie ma możliwości zastosowania innych metod udostępniania danych na temat bieżącego stanu zasobów i zaplanowanego w przyszłości?

Uwaga 7. Na stronie 57 jest drobny błąd w indeksie wzoru zasobów. Jest: $R = \{R_m, ..., i = 1, ..., M\}$, *a powinno być:* $R = \{R_m, ..., m = 1, ..., M\}$

Pytanie 6. W jaki sposób w proponowanych modelach rozumiane są kompetencje zasobów ludzkich oraz w jaki sposób przeprowadzana jest ocena kompetencji? Czy ocena kompetencji jest wykonywana w ramach danego przedsiębiorstwa osobno czy wspólnie w ramach sieci przedsiębiorstw?

Uwaga 8. Nie wszystkie oznaczenia i symbole we wzorach prezentowanych w rozdziale zostały wyjaśnione. Przykładowo we wzorze (8, str. 85) brakuje wyjaśnienia dla symbolu e oraz φ.

Uwaga 9. Podpunkt 5.3.2, który kończy rozdział piąty, zatytułowano „Przykład numeryczny i dyskusja". Jednak podpunkt nie zawiera treści dyskusyjnych lub podsumowujący treść rozdziału – kończy się na przykładzie numerycznym.

Rozdział **szósty** zawiera porównanie zaproponowanej w rozprawie doktorskiej koncepcji harmonogramowania opartego na Technologii Blockchain z harmonogramowaniem tradycyjnym. Porównanie zilustrowano:

- czytelnym schematem blokowym (rysunek 28),
- zestawieniem w tabeli przepływu informacji o zadaniach produkcyjnych i kompetencjach pracowników w systemie tradycyjnym i blockchain (tabela 9) oraz
- za pomocą wzorów dla obliczenia czasów rezerwowania zasobów produkcyjnych w harmonogramowaniu tradycyjnym (w dwóch wariantach: bez i z outsourcingiem) i w harmonogramowaniu opartego na Technologii Blockchain.

Ponadto w rozdziale wykazano zalety zastosowania współdzielonego rejestru danych w Technologii Blockchain w porównaniu z podejściem tradycyjnym.

W rozdziale **siódmym** opisano autorską, opracowaną na potrzeby weryfikacji celu naukowego pracy, internetową platformę współdzielenia rejestru zasobów produkcyjnych działającej na zasadach blockchain. Opracowanie platformy zostało również zdefiniowane jako cel utylitarny rozprawy doktorskiej. W treści rozdziału przedstawiono funkcjonalność i zasady jej funkcjonowania.

Przedstawiono interfejs użytkownika, zawartość platformy i możliwości przesyłu danych. Określono również propozycje kierunków dalszego rozwoju platformy. Poszczególne treści rozdziału zilustrowano schematami i zarzutami ekranowymi.

Rozdział **ósmy** prezentuje przykład sposobu rezerwacji i oceny zasobów według opracowanej w pracy metody. Wymiana danych o zasobach współdzielonych przy pomocy blockchain realizowana jest w sieci korporacyjnej złożonej z trzech przedsiębiorstw. Obliczenia przeprowadzono przy użyciu programu KbRS. Na prezentowanym przykładzie, w bardzo przejrzysty sposób, wykazano zalety opracowanej metody w zakresie rezerwacji i oceny zasobów produkcyjnych oraz użycia technologii Blockchain w harmonogramowaniu produkcji.

Pytanie 7. Co oznacza kolumna „wartość" w tabeli 10 i jak ją należy interpretować w kontekście stanowisk produkcyjnych (maszyn)?

Ostatnie dwa rozdziały pracy, rozdział **dziewiąty** i **dziesiąty**, zawierają wnioski z pracy (rozdział dziewiąty) oraz podsumowanie i kierunki dalszych prac badawczych. Z uwagi na dużą liczbę rozdziałów, prezentowane treści i objętość, w mojej ocenie rozdziały te powinny zostać połączone w jeden rozdział pracy. Niemniej w żadnym razie, podział zastosowany przez Autorkę, nie wpływa na moją bardzo wysoką ocenę merytorycznej zawartości rozprawy doktorskiej. Autorka, w bardzo umiejętny i profesjonalny sposób, sformułowała wnioski z prac naukowych oraz z wyników eksperymentów przeprowadzonych z wykorzystaniem zbiorów danych testowych, na których zweryfikowała poprawność opracowanej metody. W podsumowaniu pracy, wykazano zarówno zalety jak i wady metody oraz wskazano możliwe kierunki jej rozwoju.

III. OCENA METODOLOGICZNA I METODYCZNA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ I WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie przeprowadzonej analizy w rozprawie doktorskiej i procedury rozwiązywania postawionych zadań badawczych, metodologiczną i metodyczną koncepcję rozprawy doktorskiej oceniam bardzo wysoko. W mojej ocenie rozprawa ma charakter interdyscyplinarny i nowatorski dzięki opracowaniu autorskiego modelu harmonogramowania procesów produkcyjnych z zastosowaniem współdzielonego rejestru zasobów zorganizowanego w oparciu o założenia Technologii Blockchain oraz przez wzgląd na utworzenie prototypowej, internetowej platformy wymiany danych produkcyjnych.

Stwierdzam, że Pani mgr inż. Barbara Balon potrafi definiować, realizować zaplanowane zadania badawcze oraz analizować uzyskane wyniki, co potwierdza jej właściwe przygotowanie do samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Przytoczone przeze mnie uwagi w niniejszej recenzji mają charakter dyskusyjny i powinny stać się jedynie inspiracją oraz zachęcić Autorkę do prowadzenia dalszych badań. Za oryginalne i ważne pod względem naukowym oraz utylitarnym rezultaty badań uzyskane przez Doktorantkę uznaję:

— Opracowanie i weryfikację praktyczną modelu procesu harmonogramowania produkcji i zarządzania zasobami ludzkimi z implementacją Technologii Blockchain dla rzeczywistych i wirtualnych przedsiębiorstw;

— Opracowanie i weryfikację praktyczną metody oceny zasobu produkcyjnego opartą na historii pracy zasobu i określeniu jego aktualnej przydatności w ramach poszczególnych kompetencji;

— Opracowanie koncepcji wykorzystania Technologii Blockchain do poszukiwania pracownika z konkretnymi kompetencjami;

— Opracowanie sieci synchronizującej możliwości Technologii Blockchain z systemem KbRS, w obszarze gromadzenia i ochrony danych oraz zarządzania nimi w sposób bezpieczny i odporny na cyberataki. Funkcjonalność programu do harmonogramowania KbRS jest rozszerzona o możliwości operowania danymi w Technologii Blockchain.

Prowadzone prace symulacyjne oraz testowe opracowanego modelu współdzielenia zasobów produkcyjnych, przy użyciu danych pochodzących ze wspólnej bazy sieci przedsiębiorstw wykazują praktyczną użyteczność modeli. Wdrożenie opracowanej platformy internetowej algorytmów doboru zasobów do harmonogramowania może przyczynić się do osiągnięcia przez przedsiębiorstwa wymiernych efektów ekonomicznych.

Podsumowując, stwierdzam, że przedłożona do recenzji **praca doktorska Pani mgr inż. Barbary Balon pt. „Harmonogramowanie procesów produkcyjnych z zastosowaniem współdzielonego rejestru zasobów zorganizowanego w oparciu o założenia Technologii Blockchain" stanowi oryginalną pracę mieszczącą się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna** (dawniej Inżynieria Produkcji) **i spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki** (ustawa z dnia 14 marca 2003 r. wraz z późniejszymi zmianami, a także ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, art.185.). **Tym samym uznaję, że praca może być przedmiotem publicznej obrony w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna. Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie pracy.**

Anna Burduk

Prof. dr hab. inż. Anna Burduk