

Warszawa 10.01.2024

Prof. dr hab. inż. Jerzy Pokojski
Instytut Podstaw Budowy Maszyn
Politechniki Warszawskiej

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Artura Króla „Engineering knowledge management with the use of the “Digital Twins” method”.

1. Ocena ogólna pracy

Przedmiotem recenzji jest:

praca napisana przez mgr inż. Artura Króla pt. „Engineering knowledge management with the use of the “Digital Twins” method”. Praca powstała na Politechnice Śląskiej, na Wydziale Mechanicznym Technologicznym, w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn.

Recenzowana praca dotyczy zagadnień zarządzania wiedzą inżynierską w centrum badawczo-rozwojowym producenta części branży motoryzacyjnej. Wiedza towarzysząca działaniom inżynierskim, projektowym w przypadku rozważanej firmy odgrywa kluczową rolę w jej funkcjonowaniu i dalszym rozwoju. W pracy skupiono się na wielu obszarach i kierunkach modelowania i zarządzania wiedzą. Podjęto także próbę realnego, wdrożonego przemysłowo, wykorzystania koncepcji cyfrowego bliźniaka do tych właśnie zadań.

W pierwszym podrozdziale pierwszego rozdziału Autor przedstawia tło i motywacje stojące za decyzją o przeprowadzeniu badań w zakresie wskazanej powyżej tematyki. Są tu omówione różne, bardzo istotne, merytoryczne etapy w karierze zawodowej Autora poprzedzające realizację tematu rozprawy. W podrozdziale drugim dokonano prezentacji planu dysertacji. Zwrócono uwagę na bardzo istotne fakty w zakresie rozwoju wiedzy inżynierskiej, jej koncentracji na pewnych wybranych grupach zagadnień. Odniesiono się także do aktualności podejść określanych jako Industry 4.0. Stwierdzono, że recenzowana praca dotyczy próby wykorzystania trendów i metod obecnych w inicjatywie Industry 4.0. Pracę przedstawiono także w formie bardzo klarownego schematu jako całości powiązanych, kluczowych jej elementów. Ważnymi składnikami tych informacji są nawiązanie do inicjatywy Industry 4 oraz metody bliźniaka cyfrowego. Sam schemat w sposób czytelny przedstawia zawartość rozprawy i jej ogólną strukturę.

Podrozdział trzeci stanowi prezentację rozważanej klasy procesów rozwoju produktu i towarzyszące im zarządzanie wiedzą w perspektywie konkretnej, rozważanej firmy. Dokładnie określa te procesy. Przedstawia także specyficzne ich cechy, obowiązujące standaryzacje, intensywność realizowanych, opartych na nich aktywności. Zamieszcza uzasadnienie dla utrwalania zasobów pozyskanej/wypracowanej wiedzy. Charakteryzuje złożoność działań wynikającą z konieczności równoległej współpracy z wieloma producentami finalnymi. W zarysie przedstawia używane struktury informacji, ich charakterystyki i ich sekwencje, a także funkcjonujące pomiędzy nimi powiązania. Nad całym

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 09.02.2024

RDyMe/42/51/2024

nr zał.

opisem zaciąga obowiązująca poufność danych i informacji firmowych. Właściwie można podsumować, że przedstawiony opis stwarza jedynie przybliżony obraz tych zagadnień w wymiarze stopnia komplikacji stosowanych struktur, skali opisów, ogólnej charakterystyki podejmowanych zagadnień i problemów. Z drugiej jednak strony sposób ujęcia tych zagadnień mieści się w klasie rozwiązań często stosowanych w publikacjach odnoszących się do tej problematyki. W podrozdziale czwartym zawarto charakterystykę dwóch przykładowych obiektów będących przedmiotem prac projektowych: amortyzatora i stabilizatora. Opisano zarówno ich funkcje jak i aspekty stricte projektowe.

Rozdział drugi rozprawy, podrozdział pierwszy, poświęcono omówieniu interpretacji rozwoju przemysłu poprzez opis kolejnych rewolucji przemysłowych. Dużo miejsca poświęcono różnorodności ujęć tematyki związanej z czwartą rewolucją przemysłową, a także wynikających z tego zestawień i porównań. W podrozdziale drugim zamieszczono, w ujęciu historycznym, zarys rozwoju metod opartych na symulacji. Podrozdział trzeci zawiera opis koncepcji bliźniaka cyfrowego. Są to zarówno podstawowe definicje (przedstawiono ich szersze spektrum) jak i informacje o zrealizowanych aplikacjach. Zwrócono także uwagę na obfitość pojawiających się źródeł publikowanych. Oba wątki zostały przedstawione dosyć obszernie i gruntownie.

Rozdział trzeci to prezentacja problemu badawczego w kontekście rynku samochodowego. Pierwszy podrozdział dotyczy charakterystyki rynku samochodowego. Dostrzegane zmiany to powszechna i coraz bardziej widoczna elektromobilność (w tym pojazdy elektryczne i hybrydowe). Istotne zmiany to wzrost mas pojazdów jak też przesunięcia ilościowe w poszczególnych klasach typów pojazdów. W podrozdziale drugim dokonano przedstawienia głównych problemów badawczych zawartych w rozprawie. Są one związane z czasem rozwoju, wykonaniem wielu symulacji oraz obecnością licznych systemów cyfrowych. W rozdziale trzecim zaprezentowano tezę i cel badawczy. Teza cytuję: Digital twin concept can be implemented into Product Design and Development process, resulting in improvements in areas of engineering knowledge management, reducing development and testing time. Polskie tłumaczenie: (Jerzy Pokojski): Koncepcję cyfrowego bliźniaka można wdrożyć w procesie Projektowania i Rozwoju Produktu, co skutkuje usprawnieniami w obszarach zarządzania wiedzą inżynierską, skracając czas rozwoju i testowania. W formie schematu odniesiono się do zakresu implementacji bliźniaka cyfrowego – są to etapy: projektowej propozycji ofertowej, projektowania i rozwoju oraz weryfikacji projektowej.

Rozdział czwarty dotyczy analizy procesu projektowego i zarządzania wiedzą inżynierską. W podrozdziale pierwszym tego rozdziału, zatytułowanym Proces mapping (odzworowanie procesu) wystąpiło kilka kolejnych elementów z tzw. mapowaniem wysokiego poziomu. Są to:

- reguły związane z funkcjonowaniem tego procesu, a w nich: identyfikacja wstępna zespołu, specyfikacja przedmiotu mapowania, organizacja pracy zespołowej, standardowy sposób zbierania informacji.

- włączenie przedstawicieli konkretnych działów merytorycznych w proces mapowania.

- opisy skondensowane kolejnych kroków: propozycja procesu projektowego oparta na wymaganiach klienta, etap projektowania i rozwoju, etap projektowej weryfikacji.

Podrozdział drugi dotyczy przepływu danych i zarządzania wiedzą. Jest to etap szczegółowego mapowania procesu (w przeciwieństwie do wcześniejszego mapowania wysokiego poziomu). Kolejne elementy, stadia tworzonych modeli przedstawiono czytelnie za pomocą diagramów.

Całość ujęto w trzech kolejnych krokach. Są to różne aspekty projektowania i rozwoju komponentów, następnie pojedyncza pętla projektowo- optymalizacyjna, ostatnia część

analizowanego procesu odnosi się do podprocesów budowy i testowania prototypu. Szczegółowe aspekty przedstawiono na trzech kolejnych rysunkach.

Podrozdział trzeci dotyczy klasyfikacji projektowanych elementów. Zaprezentowano różne rozwiązania szczegółowe. Przede wszystkim następuje przejście do opisu cyfrowego poszczególnych zagadnień szczegółowych. Tworzone są różne zbiory danych. Przy okazji zidentyfikowano różne problemy związane z brakiem standaryzacji niektórych zestawów danych.

Rozdział piąty obejmuje zagadnienia implementacji bliźniaka cyfrowego. Na wstępie zaprezentowano schemat z kolejnymi krokami implementacji bliźniaka cyfrowego. Następny podrozdział to opisy głównych składników tego procesu. Są to: opis cyfrowy rozważanych elementów konstrukcyjnych, specyfikacja materiałowa, propozycje w zakresie udoskonalenia raportu z wykorzystania metody FEA. W następnym podrozdziale skupiono się na procedurach symulacji i optymalizacji, omawiając procedurę testowania, model symulacyjny, metodę optymalizacji symulacji, typy uszkodzeń będące przedmiotem predykcji. Następnie omówiono dane wejściowe dla bliźniaka cyfrowego oraz zastosowania samej aplikacji. Dalej przedstawiono kolejno wyniki w zakresie: siła a dane dotyczące reprezentacji cykli, naprężenia a dane dotyczące reprezentacji cykli.

Po tej części omówiono drugą część projektu pilotażowego, dotyczącą zastosowania bliźniaka cyfrowego do wykonania testu zginania tłoczyska amortyzatora.

Rozdział zamyka propozycja przyszłej mapy procesu oraz refleksje w zakresie bliźniaka cyfrowego we wspomaganiu procesu zarządzania wiedzą.

Rozdział szósty stanowią wnioski i dalsze propozycje badawcze w zakresie podjętej tematyki. Wyodrębniono tutaj następujące zagadnienia: ważność działań takich jak mapowanie procesu i klasyfikacje produktu, zarządzanie wiedzą, oszczędności, digitalizacja koncepcji dla organizacji inżynierskiej. W następnym podrozdziale przedstawiono zagadnienia, które zdaniem Autora mogą stanowić przedmiot dalszych badań.

Końcowa część rozprawy to angielskie i polskie streszczenia, oraz literatura składająca się z 70 pozycji.

Problematyka podjęta w pracy należy do grupy zagadnień badawczych obecnie bardzo intensywnie rozwijanych. Autor o tym wspomina, ale sądzę, że ta intensywność nadal stale rośnie – nawet w okresie od publikacji recenzowanej pracy do chwili obecnej pojawiło się szereg nowości. Tematyka ta jest rozwijana w kontekście zagadnień określanych jako rewolucja Industry 4.0. Bardzo często występuje powiązanie bliźniaka cyfrowego z koncepcjami systemów cyberfizycznych. Rozpoznawane i dyskutowane są rozgraniczenia pomiędzy tymi obszarami. Na uwagę zasługuje fakt wielokierunkowości prowadzonych badań. Dotyczą one zarówno koncepcji teoretycznych, wielodyscyplinowości, podejść opartych na szablonach czy też modułach. Dużo miejsca poświęca się procesom organizacji tej klasy przedsięwzięć, różnorodności funkcyjnej i narzędziowej, a także tworzeniu użytecznych typologii. Jednak jednym z najbardziej istotnych atutów podejść opartych na bliźniaku cyfrowym jest chyba ich uniwersalność i skuteczność w zakresie pojawiających się obszarów zastosowań. Jest ich bardzo dużo i potrafią być bardzo różnorodne.

Stosunkowo mniej jest publikowanych opracowań, które odnoszą się do konkretnej rzeczywistości, konkretnych kontekstów przemysłowych i na dodatek pokazują to w sposób dokładny i systematyczny. Recenzujący poznał wiele opublikowanych prac z tego obszaru. Na ogół cechowało je wiele niedomówień wynikających prawdopodobnie z poufności poruszanej tematyki.

Recenzowana praca sądzę, że stanowi jeden z tych rzadkich przypadków gdzie stosunkowo łatwo daje się ją przeczytać i na ogół zrozumieć. Praca ma ściśle określony kontekst przemysłowy, określoną firmę, określoną paletę produkowanych produktów,

określoną pozycję rynkową. Za tym wszystkim stoi know-how firmy, używane modele i procesy. A tak właściwie określona, posiadana i używana jest wiedza. Wiedza uchwycona formalnie i wiedza funkcjonująca, stosowana w realizowanych procesach. Autor rozprawy podjął się skonfrontowania propozycji literaturowych określanych mianem bliźniaka cyfrowego z aktualnie obecnymi i funkcjonującymi realiami w konkretnej firmie. Konfrontacja ta ma charakter ograniczony do dwóch stosunkowo prostych elementów, traktowana jest jako pilotażowa. Autor przechodzi w sposób dokładny przez poszczególne stadia swojego eksperymentu. Proponuje strukturalizację wstępną zagadnienia, tworzy dużo schematów, koryguje i modyfikuje istniejące ujęcia i elementy procesów. Ten sposób poruszania się jest praktykowany przez całość rozprawy, łącznie z końcowymi rezultatami przeprowadzonych analiz. Na koniec dodano bardzo wartościowe, moim zdaniem, zakończenie – końcowe wnioski i konkretne propozycje dalszych badań.

Największą zaletą pracy jest zaproponowanie procesu organizacji przedsięwzięcia zmierzającego do wdrożenia bliźniaka cyfrowego w konkretnej rzeczywistości przemysłowej. Przedstawione dokonania robią wrażenie udanych i zmierzają w kierunku osiągnięcia postawionych celów. Odwoływanie się bezpośrednio do przemysłowej rzeczywistości ma tę istotną zaletę, że pozwala intensywnie skupić się na własnych dokonaniach, a jednocześnie pominąć cudze, nie zawsze zrozumiałe, szczegółowe badania i ich nie zawsze czytelne interpretacje.

2. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Praca dotyczy realnego, przemysłowego zastosowania koncepcji i metod bliźniaka cyfrowego. Generalnie jest bardzo udana i dobrze napisana. Autor w swojej narracji porusza się w głównym strumieniu poruszanej tematyki. Projekt ma charakter pilotażowy. Zdaniem recenzującego interesujące byłoby wyrażenie przez Autora opinii na tematy bardziej skrajne np. nawiązania do popularnej obecnie tematyki długoterminowego modelowania wiedzy inżynierskiej (ang. long term engineering knowledge modeling), kwestie uwzględnienia autorskich, osobistych modeli wiedzy inżynierskiej, dokonywania konwersji modelowanej wiedzy, itp.

Zagadnienia modelowania wiedzy to dzisiaj nie tylko problematyka akcyjna, sprawcza to także różne inteligentne narzędzia pozwalające wydobyć określone materiały z posiadanych już zasobów, czy też narzędzia, które na bazie tych materiałów i wiedzy własnej człowieka pozwalają stworzyć pewien rodzaj refleksji. Sądzę, że zrealizowany w rozprawie temat mógłby być zaczątkiem takich dokonań.

Zagadnienia bliźniaka cyfrowego odznaczają się dużą rozpiętością merytoryczną, tematyczną itp. Bardzo trudno jest zestawiać i porównywać prace z tego zakresu. Sądzę, że w praktyce przemysłowej bardzo przydatna byłaby standaryzacja oparta na formalnie zdefiniowanych strukturach i koncepcjach. Pozwalałoby to lepiej określać procesy życia takich rozwiązań i zarządzać nimi, a przede wszystkim porównywać je ze sobą.

Autor rozprawy oparł swoje wywody na dosyć reprezentatywnej strukturze literaturowej. Jest to godne docenienia. Jednak swoje wywody w tym zakresie przedstawiał na ogół narracyjnie. Sądzę, że interesujące mogłoby być stworzenie różnych przekrojowych wizualizacji graficznych odnoszących się do wybranych wątków.

2.1. Uwagi szczegółowe

Praca została napisana starannie, na bardzo wysokim poziomie edytorskim.

3. Podsumowanie

Pracę mgr inż. Artura Króla oceniam pozytywnie. Za jej główne zalety uważam:

- 1) rozwiązanie realnego, kompleksowego, umieszczonego w rzeczywistości przemysłowej zadania naukowego polegającego na wdrożeniu bliźniaka cyfrowego,
- 2) opracowanie i przedstawienie szczegółowo organizacji procesu wdrażania bliźniaka cyfrowego,
- 3) opanowanie obszernej i różnorodnej wiedzy merytorycznej i narzędziowej.

Stwierdzam, że rozprawa mgr. inż. Artura Króla spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy i wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters, likely representing the name of the reviewer or the author.