



Wydział Inżynierii Materiałowej
Katedra Inżynierii Produkcji

prof. dr hab. inż.
Krzysztof Nowacki

Recenzja pracy doktorskiej mgr. inż. Andrzeja SZAJNY

pt.: „Wykorzystanie narzędzi rzeczywistości rozszerzonej do usprawnienia zarządzania procesami produkcyjnymi”

opracowana na zlecenie Dyrektora Instytutu Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytetu Zielonogórskiego

Ocena wyboru tematu pracy doktorskiej

Organizacja produkcji przemysłowej wymaga stosowania coraz to nowszych i skuteczniejszych narzędzi i form organizacyjnych. Wprowadzenie, w pierwszej kolejności koncepcji Przemysłu 4.0, a następnie wdrażanie poszczególnych narzędzi dostępnych i intensywnie rozwijanych w ostatnim dziesięcioleciu, lokujących się w zdefiniowanych obszarach Industry 4.0, dało przedsiębiorstwom nowe, dotąd nieznanne możliwości organizacji procesów produkcyjnych. Jednym z takich obszarów jest wirtualna i rozszerzona rzeczywistość. Coraz nowszy sprzęt i tworzone aplikacje pozwalają na redukcję kosztów przygotowania pracownika do wykonywania swoich zadań, a także efektywniejszą realizację samych procesów produkcyjnych. Efektywność ta może przejawiać się w postaci mniejszej liczby wyrobów wadliwych generowanych np. przez błędy montażowe lub skróceniem czasu poszczególnych operacji. Korzyści te możliwe są m.in. dzięki zapewnieniu pracownikom sprawniejszego dostępu do informacji niezbędnych przy realizacji bieżących obowiązków.

W zarządzaniu wiedzą w ostatnich kilkunastu latach niezwykle pomocne są systemy informatyczne, pozwalające na bieżąco śledzić generowane przez przedsiębiorstwo informacje. Niestety, w klasycznej organizacji procesów, agregacja danych i dostęp do nich wymaga czasu. Rozwiązaniem zagadnienia agregacji danych są systemy informatyczne a dostęp do nich mogą być monitory w które wyposażone jest stanowisko lub okulary AR.

Biorąc pod uwagę powyższe, pozytywnie oceniam wybór tematu realizowanej pracy doktorskiej Pani mgr. inż., Andrzeja Szajny, choć w mojej opinii słowo „zarządzanie” można było zamienić na „organizację”. Temat dysertacji spełnia warunek aktualności i jednocześnie stanowi odpowiedź na zapotrzebowanie na działalność badawczą w obszarze zarządzania wiedzą mieszczący się obszarze inżynierii produkcji.

Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Materiałowej
Katedra Inżynierii Produkcji

ul. Krasińskiego 8, pok. 141, 40-019 Katowice
+48 32 603 44 12
krzysztof.nowacki@polsl.pl

NIP 631 020 07 36
ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Charakterystyka i ocena pracy doktorskiej

Recenzowana praca doktorska zredagowana jest według klasycznego i akceptowanego schematu na 246 stronach, które obejmują:

- część literaturową (rozdz. 2), zawierającą krótką charakterystykę badanej problematyki z zakresu digitalizacji produkcji związanej z Przemysłem 4.0, ze szczególnym akcentem na organizację produkcji i aplikacje AR,
- genezę, tezę pracy, cel i metodykę badań (rozdz. 1 i 3),
- części analityczną (rozdz. 4-6) zawierającą charakterystykę opracowanego Narzędzia AR-AI oraz wyniki badań zastosowania ww. narzędzia w procesach przemysłowych.

Analizując przyjętą strukturę pracy, należy stwierdzić, że jest ona zbyt rozbudowana. Pracę podzielono na 71 rozdziałów i podrozdziałów, które w kilku przypadkach opisane są zaledwie jednym akapitem. Dodatkowo tytuły niektórych z nich się powtarzają, np. „Procedura testowa” (rozdz. 6.1.3 i 6.2.2) czy „Podsumowanie (rozdz. 2.9, 4.3, 5.4 i 7.6). Trudności czytelnikowi mogą sprawiać również wielokrotne odwołania w tekście do informacji przedstawionych wcześniej lub, co jest szczególnie uciążliwe w dalszej części pracy. Szczególnie kłopotliwe jest wcześniejsze odwoływanie się do Narzędzia AR-AI, bez jego charakterystyki, którą zamieszczono w dopiero w rozdz. 4 i kolejnych.

Ponadto w treści pracy zamieszczono podsumowanie i wnioski, spis bibliografii, rysunków, tabel, załączników i publikacji. Uzupełnienie pracy stanowi 11 załączników w których Autor zawarł m.in. pełne wyniki badań, przykłady publikacji nt. AR wprowadzających zdaniem Autora w błąd, wybrane treści uzupełniające oraz szczegóły informatyczne dot. Narzędzia AR-AI.

Spis bibliograficzny, zawiera 418 prawidłowo dobranych pozycji krajowych i zagranicznych, w tym 14 publikacji których Doktorant jest głównym autorem.

Pomijając streszczenie, rozprawę otwiera „wykaz ważniejszych oznaczeń”. W wykazie tym Autor zawarł właściwie wykaz skrót, a objaśnienia oznaczeń przedstawił w treści pracy.

W pierwszym rozdziale Doktorant wprowadza czytelnika w problematykę rozprawy oraz jej genezę, a w kolejnym dokonuje przeglądu literaturowego problematyki poruszanej w pracy, którą Autor zamieścił na 39 stronach, dzieląc ją na dziewięć głównych podrozdziałów. W przeglądzie istniejącego stanu wiedzy, wskazującego na bardzo dobre opanowanie zakresu rozprawy przez Doktoranta, należy zwrócić uwagę, że nie ograniczono się jedynie do informacji literaturowych. Doktorant podjął trud przeglądu aktualnych prac doktorskich realizowanych w arbitralnie wybranych ośrodkach naukowych, wskazując ich związek z zakresem dysertacji.

Przedstawione w tej części dysertacji treści wprowadzają czytelnika w analizowane zagadnienia, udowadniając jednocześnie dużą wiedzę Doktoranta w tym temacie. Ich lektura nasuwa jednak kilka pytań:

- na str. 41, Autor w ślad za (Ciebiera, 2021) stwierdza, że „mało kto w 2010 roku uważał sieci neuronowe za dobry pomysł – naukowcom wydawało się, że to raczej ślepy zaułek”. Zapytanie jednej z popularnych wyszukiwarek Google Scholar o hasło „neural networks” za lata 2000-2010 wskazuje na ponad 18000 wyników. Czy w tym przypadku można mówić o „ślepych zaułku”? Jakie jest zdanie w Doktoranta tym temacie?

- rozdz. 2.8.2 zatytułowano „Zarządzanie danymi cyfrowymi z wykorzystaniem najnowszych technologii”. Jak Autor rozumie pojęcie „najnowszych technologii”, jakie są wg. Doktoranta kryteria kwalifikacji technologii do tej grupy oraz do których/jakich technologii odwołuje się w tym rozdziale?
- na str. 50 Autor wskazuje, że „elementy wskaźnika całkowitej efektywności wyposażenia wiążą OEE z produkcją dopasowaną Fit - koncepcją zarządzania procesem produkcyjnym łączącą produkcję szczupłą z produkcją zwinną”. Proszę o wyjaśnienie różnic pomiędzy ww. systemami produkcji oraz wskazanie w jaki sposób wskaźnik OEE łączy ww. systemy produkcji.

Powyższe uwagi należy traktować jako wstęp do dyskusji, mając na uwadze, że nie wpływają one na poziom merytoryczny tej części pracy.

W rozdziale 3, zgodnie z jego tytułem, Doktorant zawarł tezę, cel i metodykę badań. Stwierdzam, że przedstawiona w pracy teza została sformułowana prawidłowo, przede wszystkim precyzując sposób wykorzystania opracowanego narzędzia. Wątpliwość budzi jedynie sformułowanie „istotne skrócenie czasu” bowiem jest ono uznaniowe, więc wystarczyło wskazanie na „skrócenie czasu” a o jego istotności uzasadnić w dyskusji wyników badań. Ponadto w rozdziale 3 sformułowano zakres badań oraz wskazano na metodykę badań. Sam opis metodyki zawarto jednak dopiero w dalszej części pracy, co zmniejsza czytelność pracy. Poza tym wiele wyników przedstawiono w części badawczej nie zostało opisanych stosownymi wzorami, co utrudnia ich interpretację. Przykładowo Autor w wielu przypadkach analizuje średnią, nie wskazując których danych ona dotyczy.

W dalszej części pracy, w rozdziale 4 przedstawiono opracowane Narzędzie AR-AI oraz przyjętą koncepcję/model jego wpływu na proces lub podprocesy produkcyjne. Do tej części Autor zamieścił m.in. wyniki ankiety nt. „charakteru pracy wybranych pracowników, ich potrzeby dostępu do danych i sposobów komunikacji z innymi pracownikami”. W badaniu wzięło udział 33 respondentów. W treści pracy nie wyjaśniono jakie było kryterium doboru przedsiębiorstw, stanowisk i respondentów. W tabl. 2 przedstawiając zbiorcze wyniki badania w pkt. 2, trzech respondentów wskazało na brak potrzeby danych/informacji na stanowiskach. Dlaczego więc ich odpowiedzi zostały uwzględnione w dalszej części badania, szczególnie w pytaniu 4? Ich ujęcie może częściowo wypaczać wynik badania.

Rozdziały 5 i 6 to opis potencjalnych możliwości zastosowania Narzędzia AR-AI w trzech podprocesach produkcyjnych oraz wyniki badań jego przydatności. Analizowanymi podprocesami są:

- montaż przewodów,
- inspekcja linii produkcyjnej,
- kontrola jakości.

Poniżej przedstawiono główne uwagi do części analitycznej pracy.

1. We wzorze 1 i 2 czas wykonania wybranych czynności podprocesu oznaczono jako $t_3(x, y, z)$. Taki zapis jest błędny ponieważ nie wskazuje sumy czasów czynności x , y i z . Ponadto zapis x , y , z , używany jest do opisu układu kartezyjskiego, co może być dodatkowo mylne.
2. Na str. 123 stwierdzono, że „poszczególne czasy mierzono głównie za pomocą stopera”. W jaki inny sposób mierzono czasy poszczególnych czynności oraz czy dokładność/błąd pomiaru był tak sam?

3. Analizując czas montażu przewodów przeprowadzono pomiary dla montażu 20 przewodów, wskazując że w rzeczywistości jest ich 300. Dlaczego eksperyment ograniczono do montażu 20 przewodów (6,67%)? Takie ograniczenie pozwoliło na określenie różnicy jedynie w początkowej fazie czynności montażowych, wykluczając wpływ przeciążenia percepcyjnego pracownika informacjami. Czy wyniki z 20 prób można bezkrytycznie przenosić na całość procesu?
4. Dlaczego na rys. 6.2 i 6.6 przedstawiono histogramy sumy czasów i wartości odchylenia standardowego. Czego dotyczy wyznaczone odchylenie standardowe (proszę o wzór) i jak je na rysunkach interpretować? Przykładowo dla testera 1 na rys. 6.3 odchylenie to wynosi ok. 3h40min do 5h. Opis sugeruje że odchylenie dotyczy próby, tymczasem próby liczone są w minutach a nie godzinach.
5. Jaki był cel określenia korelacji pomiędzy czasem eksperymentów bez i z Narzędziem AR-AI? Proszę o graficzne przedstawienie korelacji.
6. Na str. 131 Doktorant stwierdził, że „została wskazana odpowiedź na pomocnicze pytanie badawcze. Pytanie to brzmiało następująco: Jak długo zajmie pracownikowi spojrzenie na ekran dotykowy, interpretacja grafiki 3D programu wspomaganie montażu przewodów ESW i zestawienie jej z rzeczywistą obudową sterowniczą versus jak długo zajmie pracownikowi zobaczenie, bezpośrednio przed oczyma, tych wszystkich informacji wyświetlanych przez inteligentne okulary, ze wskazaniem miejsca montażu przewodu?” W rzeczywistości Doktorant nie przedstawił wyników takich badań bowiem ich nie prowadził. Badania dotyczyły jedynie czasu operacji, której jedną z wielu składowych jest czas spojrzenia, interpretacja informacji itd. Badania takie stanowią odrębne zagadnienie, nie uwzględnione w zakresie pracy. Uwaga o tym samym charakterze dotyczy pytań ze stron 136 i 142.
7. Na stronie 134 wskazano, że inspekcje linii produkcyjnych prowadzone były w zakładach starszych, w nowszych i najnowszych. Jakie było kryterium podziału zakładów?
8. Jak wyznaczono „średni zaoszczędzony czas 17:05 [mm:ss]” wskazany na stronie 137? Które dane wzięto pod uwagę?
9. Dlaczego w analizie przydatności Narzędzia AR-AI w procesie kontroli jakości nie przedstawiono danych zawartych w tabeli 31 (w załączniku 6) i nie przeprowadzono ich dyskusji. W mojej ocenie analiza przedstawiona w rozdz. 6.3 dotyczy zmiany organizacyjnej a nie przydatności Narzędzia AR-AI. Sednem rozdziału powinna być analiza danych przedstawionych w tabl. 31.

Ostatnim rozdziałem recenzowanej rozprawy jest podsumowanie i wnioski końcowe. Autor przedstawił w nim uzasadnienie potwierdzające założoną tezę i hipotezy badawcze. Wyciągnięte wnioski każdorazowo szczegółowo zostały uzasadnione. Autor przedstawił wnioski wieloaspektowo, z uwzględnieniem uwarunkowań organizacyjnych i ekonomicznych. Większość przedstawionych wniosków wynika z przeprowadzonych badań i analiz wyników. Wyjątkiem jest wniosek 6 „Narzędzie AR-AI ma pozytywny wpływ na zadowolenie z pracy”. Doktorant nie prowadził badań w tym kierunku a Jego obserwacje, że „użytkownicy wydawali się być bardziej zrelaksowani”, nie upoważniają do tego typu wnioskowania. Obserwacje Autora mogły stanowić część podsumowania.

Na końcu pracy Doktorant zamieścił 11 załączników, w których w większości zamieścił wszystkie wyniki przeprowadzonych badań i wybrane wg uznania treści stanowiące uzupełnienie dysertacji. Załączniki stanowią cenne uzupełnienie pracy, jednak w przypadku załącznika nr 9 „Przykłady publikacji nt. AR, które wprowadzają w błąd”, w mojej ocenie Autor powinien wykazać się większą wstrzeźliwością. Wysuwając tezę o błędach zawartych w publikacjach, które poddane zostały pełnemu cyklowi recenzji redakcyjnych, należy pamiętać o okolicznościach mających wpływ na zawarte w nich treści, np. rok publikacji i rozwój technologii AR i VR w okresie poprzedzającym publikację, dostępność narzędzi i sprzętu a także kontekst poszczególnych publikacji. Uważam, że Doktorant ma prawo do oceny przydatności dostępnych pozycji literaturach i odwołań do nich w tekście dysertacji, jednak tworzenie tego typu zestawienia nie powinno mieć miejsca. Poza tym w pracy zauważalna jest niekonsekwencja, bowiem publikacje przedstawione w załączniku 9, znalazły się w spisie bibliograficznym i znajdują się do nich odwołania w treści pracy.

Pomimo widocznej dużej staranności w opracowaniu rozprawy, Autor nie ustrzegł się pewnych błędów językowych związanych w większości z mało precyzyjną formą wypowiedzi, np.: całkiem spory rozkład, suma zaoszczędzonych minut przedstawionych w formacie gg:mm:ss, pracownicy wydawali się być bardziej zrelaksowani itp., czy też błędów literowych w tekście pracy. Są to drobne błędy, które nie obniżają wysokiego poziomu naukowego pracy, ale powinny zostać skorygowane w przypadku wykorzystania materiału w dalszych publikacjach.

Wszystkie powyższe uwagi mają w dużej mierze charakter dyskusyjny i nie wpływają na moją pozytywną ocenę wartości merytorycznej pracy, ogólnej prawidłowości koncepcji badań i zastosowanych technik badawczych.

Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę aktualność tematyki rozprawy doktorskiej, mającą znaczenie poznawcze i użytkarne oraz umiejętności Autora, który:

- wykazał dobre opanowanie warsztatu naukowego w zakresie opracowania Narzędzia AR-AI i jego wykorzystania w praktyce przemysłowej, oraz analizy uzyskanych wyników badań,
- sformułował i rozwiązał samodzielnie określony problem badawczy zgodnie z postawionymi hipotezami oraz dobrał do niego właściwe metody badawcze,
- udowodnił, że zastosowanie w praktyce przemysłowej Narzędzia AR-AI przyczynia się do skrócenia czasu operacji,
- na podstawie badań własnych uzupełnił wiedzę naukową w obszarze Przemysłu 4.0,

stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pt.: „Wykorzystanie narzędzi rzeczywistości rozszerzonej do usprawnienia zarządzania procesami produkcyjnymi” zawiera się w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna, szczególnie w obszarze Inżynierii Produkcji oraz spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dn. 14 marca 2003r (DzU 2017 poz. 1789 tj. ze zm.).

Na podstawie powyższego wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Andrzeja Szajnę do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

