

Rzeszów 05.02.2026 r

Prof. dr hab. inż. Dorota Stadnicka
Politechnika Rzeszowska
Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Bilonia nt.
„Digitalizacja wybranych procesów w wielobranżowej firmie projektowej
z uwzględnieniem SI dla wybranych procesów”

I. Podstawy formalne i ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Gdańskiej, Dziekana Wydziału Inżynierii Mechanicznej prof. dr hab. inż. Mariusza Deji (pismo 162/WIMiO/2025).

Recenzowana rozprawa liczy 171 stron. Jej treść została podzielona na 14 rozdziałów i, oprócz tekstu zasadniczego, zawiera 30 rysunków oraz 20 tabel. Rozdziały główne poprzedzają oświadczenia Autora, opis rozprawy doktorskiej w języku polskim i angielskim oraz spis treści. Pierwsze dwa rozdziały obejmują spis symboli i skrótów oraz streszczenie wraz z abstraktem graficznym pracy. Rozdział 3 stanowi wstęp, w którym Doktorant przedstawił genezę oraz motywację do realizacji pracy. Kolejne dwa rozdziały zawierają analizę literatury przedmiotu oraz analizę aktualnego stanu wiedzy w zakresie realizacji procesu projektowania. Rozdział 6 opisuje problem naukowy przeznaczony do rozwiązania oraz jego przydatność z punktu widzenia przedsiębiorstwa. W rozdziale 7 Doktorant przedstawił badania wraz z ich planem i metodyką. Rozdział 8 zawiera wyniki badań oraz ich dyskusję. Kolejne dwa rozdziały prezentują efekt naukowy pracy, obejmujący osiągnięte cele badań w odniesieniu do postawionych hipotez oraz implementację wyników badań w przedsiębiorstwie. Rozdział



11 zawiera wnioski końcowe. Następnie zaprezentowano spis rysunków oraz tabel. Pracę zamyka spis literatury.

Wstęp prezentuje genezę oraz motywację realizacji pracy, wskazując na znaczenie digitalizacji procesów projektowania w kontekście poprawy efektywności wielobranżowych firm projektowych. Doktorant omówił również przesłanki przemawiające za analizą możliwości zastosowania sztucznej inteligencji (SI) w celu wsparcia procesów realizowanych w tych przedsiębiorstwach. Zidentyfikował także potencjalne korzyści, jakie mogą osiągnąć firmy wdrażające nowe narzędzia oparte na SI. Autor jasno przedstawił uwarunkowania podjęcia tematu oraz realizacji badań, podkreślił własne doświadczenie w branży i wskazał obszar badawczy pracy.

Rozdziały 4 i 5 stanowią teoretyczne wprowadzenie do tematu pracy. W rozdziale 4 Doktorant przeprowadził analizę literatury w celu zbadania aktualnego stanu wiedzy na temat wspierania procesów zachodzących w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych. Zidentyfikował rozwiązania wspierające selekcję oraz optymalizację portfela projektów i dokonał ich krytycznej oceny w kontekście możliwości praktycznego zastosowania. Odnosił się do zagadnień zarządzania portfelem projektów (PPM) oraz tworzenia wartości, zwracając uwagę na konieczność koncentracji zasobów organizacyjnych na projektach o znaczeniu strategicznym. Następnie Doktorant przeszedł do tematyki zdolności organizacji do adaptacji jako sposobu radzenia sobie z nieprzewidywalnymi i szybkimi zmianami. Zidentyfikował najnowsze badania odnoszące się do problemu alokacji zasobów w warunkach Przemysłu 4.0 oraz proponowane w nich rozwiązania. Ostatecznie Autor zdefiniował lukę badawczą jako **brak praktycznych rozwiązań dedykowanych sektorowi projektowo-inżynierskiemu, które wykorzystywałyby sztuczną inteligencję oraz wspomagały procesy realizowane w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych.**

W **rozdziale 5** Doktorant przedstawił analizę aktualnego stanu wiedzy z zakresu realizacji procesu projektowania, rozpoczynając od prezentacji przykładowej struktury macierzowej wielobranżowej firmy projektowej z branży okrętowej oraz wskazania problemów wynikających z jej stosowania. Następnie omówił powiązania występujące pomiędzy firmami projektowymi, które powodują znaczną zmienność w czasie poziomu obciążenia pracą w pojedynczej firmie projektowej oraz konieczność wprowadzania nieprzewidzianych zmian. W dalszej części rozdziału Doktorant zaprezentował uniwersalny proces realizacji projektu w wielobranżowej firmie projektowej oraz wskazał przykładowe różnice w nazewnictwie składowych projektów realizowanych w różnych sektorach inżynierii. Następnie zidentyfikował proces główny oraz procesy służebne występujące w wielobranżowej

inżynierskiej firmie projektowej i dokonał analizy możliwości zastosowania rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji w tych procesach, podsumowując, że największy potencjał wdrożeniowy wykazują procesy związane z obciążeniem projektantów zadaniami wynikającymi z planów i ich zmian, kontrolą jakości, zarządzaniem dokumentacją oraz zarządzaniem zmianami. Kolejno Autor podsumował sposoby wizualizacji macierzy obciążenia zasobów w ujęciu krótkoterminowym, omówił główne założenia dotyczące planowania projektów, scharakteryzował zakłócenia procesu projektowego (wewnętrzne i zewnętrzne) stanowiące przyczynę wprowadzania zmian w planach, a także przedstawił praktyczne procedury planowania oraz modyfikacji planów obciążenia projektantów. Zwrócił również uwagę na znaczenie cyklu Deminga (PDCA) w zarządzaniu projektami. Doktorant przeanalizował ponadto wpływ zintegrowanych systemów zarządzania opartych na normach ISO oraz AQAP na funkcjonowanie firm inżynierskich. W jednym z podrozdziałów odniósł się do programów komputerowych wspomagających proces projektowania oraz zarządzania projektami. Rozdział kończy podsumowanie zawierające krytyczne uwagi dotyczące sposobów planowania oraz wprowadzania zmian w planach obciążenia zasobów.

Rozdział 6 prezentuje problem naukowy oraz znaczenie jego rozwiązania dla wielobranżowych inżynierskich firm projektowych. Problem ten jest powiązany ze zidentyfikowanymi trudnościami występującymi w tych przedsiębiorstwach, związanymi z brakiem usystematyzowanego podejścia do dokumentowania zdarzeń, gromadzenia i przetwarzania danych oraz z rozproszeniem źródeł informacji. Kluczowy problem badawczy sformułowano w postaci następujących pytań: *Czy da się zastosować narzędzia sztucznej inteligencji w procesie planowania obciążenia inżynierskimi zadaniami projektowymi zasobów ludzkich w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych? W jaki sposób narzędzia te mogą wspierać managerów w podejmowaniu decyzji, poprawiając efektywność projektową oraz minimalizując ryzyko nadmiernego obciążenia zasobów? Jakie będą konsekwencje wdrożenia takiego narzędzia?* Następnie przedstawiono hipotezę główną, zgodnie z którą *„zastosowanie narzędzi sztucznej inteligencji w planowaniu realizacji projektów i w reakcji na zmiany planów, pozwala na znaczną poprawę efektywności realizacji procesu projektowania oraz jakości realizacji projektów, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów operacyjnych”*. Z hipotezy tej wyodrębniono cztery hipotezy szczegółowe, jak następuje:

- *„Narzędzia sztucznej inteligencji umożliwiają automatyczne generowanie racjonalnych planów realizacji prac projektowych (...), które są dostępne szybciej w porównaniu z metodami manualnymi i mogą przedstawiać alternatywne scenariusze planowania, uzależnione od założeń początkowych (...).*

- *Wdrożenie systemów wspierających decyzje oparte na SI redukuje ryzyko błędów wynikających z subiektywnych decyzji managerów i braku pełnych danych (...).*
- *Standaryzacja danych projektowych zwiększa jakość planów generowanych przez zewnętrzne modele SI wykorzystujące modele predykcyjne i pozwala na precyzyjne przewidywanie skutków wprowadzanych zmian i zaburzeń dla procesu realizacji projektów (...).*
- *Nowe rozwiązania powinny być intuicyjne i uznawane przez użytkowników za przydatne, co wpłynie na akceptację i efektywność ich wdrożenia w praktyce pod warunkiem zachowania ich decyzyjności, która jest podstawą odpowiedzialności w inżynierskich firmach projektowych (...).*"

Rozdział 7 prezentuje badania wraz z ich planem oraz metodyką. Na początku przedstawiono ogólny opis badań oraz zrealizowanych zadań wdrożeniowych, przeplatając informacje dotyczące przebiegu badań z ich wynikami. Następnie Doktorant zdefiniował cel badań, którym było opracowanie, przetestowanie oraz wdrożenie narzędzi wspierających planowanie oraz zmiany planu realizacji procesu projektowania w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych, a także podsumował obszar badawczy pracy. Kolejno w postaci tabelarycznej przedstawił plan badań, podzielony na osiem etapów. Dla każdego etapu zaprezentował zadania badawcze, cele badań oraz zastosowane metody badawcze. W następnym podrozdziale, poświęconym metodyce badań, przedstawił ogólną charakterystykę badań, próbę badawczą, narzędzia badawcze oraz założenia do analizy danych.

Rozdział 8 zawiera wyniki badań oraz ich dyskusję. **Podrozdział 8.1** stanowi krótkie wprowadzenie. W kolejnych sześciu podrozdziałach zamieszczono wyniki odnoszące się do poszczególnych etapów planu badań, z wyjątkiem Etapu I. Dodatkowo Etapy VI i VII zaprezentowano łącznie w jednym podrozdziale (8.6). Większość z omawianych podrozdziałów zawiera takie elementy, jak: opis zadań, cel badań, metodologia lub metodyka, wyniki badań, dyskusja oraz wnioski. Odmienną strukturę posiadają jedynie podrozdziały 8.5 oraz 8.7. **Podrozdział 8.2** prezentuje wyniki badań ankietowych przeprowadzonych wśród 1283 pracowników wielobranżowych inżynierskich firm projektowych. Głównym celem badań było uzyskanie odpowiedzi na pytania dotyczące sposobów realizacji procesu planowania zasobów w firmach projektowych, udziału budżetu (w ujęciu finansowym i godzinowym) przeznaczonego na planowanie zasobów w całkowitym budżecie zarządzania projektem oraz w budżecie projektu, a także potencjalnego wpływu eliminacji ręcznego planowania zasobów na efektywność funkcjonowania wielobranżowych firm inżynierskich. Ankieta obejmowała również zagadnienia związane z potrzebą przygotowywania w przedsiębiorstwach kilku

wariantów projekcji planu pracy zasobów w projekcie oraz zapotrzebowaniem na narzędzia informatyczne służące do automatyzacji procesów zarządzania zasobami. Sformułowane wnioski wskazują na znaczącą konsumpcję budżetu przeznaczanego na wymienione działania oraz na potrzebę wdrożenia nowego narzędzia informatycznego. **Podrozdział 8.3** przedstawia wyniki analizy zawartości 20 baz danych użytkowników systemu Wayman ERP, przeprowadzonej w celu identyfikacji skali zaburzeń uniemożliwiających realizację pierwotnych planów projektów i implikujących konieczność wprowadzania zmian w planach. Zaprezentowano schemat blokowy ilustrujący metodykę analizy baz danych systemu Wayman ERP, a także zestaw słów kluczowych wykorzystanych do identyfikacji czynności związanych z planowaniem oraz wprowadzaniem zmian. Na podstawie uzyskanych danych podsumowano przyczyny oraz skutki opóźnień aktualizacji planów realizacji projektów (tabela 8). Dodatkowo porównano liczbę godzin poświęconych na projektowanie oraz planowanie zasobów w przypadku planowania ręcznego w arkuszu kalkulacyjnym oraz planowania z wykorzystaniem systemu informatycznego z wdrożoną nową procedurą planowania, wskazując na skrócenie czasu planowania w drugim przypadku. **Podrozdział 8.4** prezentuje wyniki analizy dostępnych na rynku rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji. Doktorant ustalił pięć kryteriów oceny rozwiązań oferowanych przez firmy technologiczne oraz przypisał im odpowiednie wagi. W badaniach zastosowano metodę ekspercką, a na podstawie uzyskanych wyników wyłoniono rozwiązanie firmy OpenAI. **Podrozdział 8.5** opisuje proces przygotowania narzędzi badawczych do segmentacji danych, która jest niezbędna do zapewnienia, że dane zostaną odpowiednio sklasyfikowane na potrzeby ich późniejszego wykorzystania w automatycznej analizie z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Opracowano dwa narzędzia: jedno przeznaczone do ręcznej segmentacji danych oraz drugie wykorzystujące w tym celu sztuczną inteligencję. Wymagało to przygotowania zestawienia klas i grup czynności stosowanych w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych w sektorze okrętowym, a następnie zdefiniowania atrybutów opisujących zadania, stanowiących elementy uniwersalnego spisu działań i dokumentacji (USD). Doktorant opracował schemat ideowy funkcjonalności modułu wiążącego ręcznie utworzone zadania z USD oraz określił wymagania dla narzędzia do ręcznej segmentacji danych i dla modułu segmentacji zadań wykorzystującego sztuczną inteligencję. W **podrozdziale 8.6** zaprezentowano wyniki eksperymentu dotyczącego segmentacji danych z wykorzystaniem narzędzia do ręcznej segmentacji oraz modułu segmentacji zadań opartego na SI. Badanie miało na celu ocenę techniczną narzędzi oraz zrozumienie sposobu, w jaki innowacyjne rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji są postrzegane i akceptowane przez użytkowników. Proces segmentacji danych porównano,



stosując kryteria takie jak czas reakcji, liczba błędów, łatwość użycia oraz satysfakcja użytkowników. **Podrozdział 8.7** zawiera wyniki eksperymentu dotyczącego generowania planów w reakcji na zaburzenia. W pierwszej kolejności Doktorant opracował listę atrybutów przewidzianych do eksportu z modułu „Plan krótkoterminowy” systemu Wayman. Następnie przygotowane zostały dane wejściowe do modelu SI oraz reguły modyfikacji planu z wykorzystaniem narzędzi dostępnych w systemie. Doktorant zaproponował autorską metodę przygotowania danych wejściowych na podstawie historycznych zapisów planów krótkoterminowych oraz opracował specyfikację techniczną formatowania plików CSV. W dalszej kolejności przeprowadzono weryfikację rezultatów działania modelu poprzez ocenę nowej wersji planu krótkoterminowego względem przyjętych kryteriów walidacyjnych (tabela 16, obejmująca sześć kryteriów). Na zakończenie opracowano zestawienie porównawcze czasu generowania nowych wersji planu w trybie manualnym oraz przy wsparciu SI, a także zestawienie procentowych oszczędności czasu uzyskanych dzięki zastosowaniu SI, wskazujące na redukcję czasu na poziomie 33–67%.

Rozdział 9 podsumowuje wyniki badań, odnosząc je do hipotez badawczych, oraz przedstawia efekty naukowe zrealizowanej pracy. Autor omówił także ograniczenia oraz założenia pracy, a także przedstawił uzasadnienie przyjętych decyzji badawczo-wdrożeniowych, w szczególności dotyczących doboru próby badawczej. Jednocześnie podkreślił, że wyniki zaprezentowane w pracy mogą mieć wartość przede wszystkim dla obecnych i przyszłych użytkowników oraz firm funkcjonujących w ekosystemie Wayman, a niekoniecznie dla całego rynku wielobranżowych firm projektowych.

W **rozdziale 10** omówiono implementację wyników badań w przedsiębiorstwie. W pierwszej kolejności przedstawiono cel działań wdrożeniowych oraz kontekst organizacyjny. Następnie zaprezentowano przedmiot wdrożenia, którym były nowe funkcjonalności systemu Wayman, a w kolejnych etapach przedstawiono proces wdrożenia tych funkcjonalności oraz wyniki ankietyzacji przeprowadzonej wśród użytkowników systemu, potwierdzające ich użyteczność. Na końcu podsumowano rezultaty i efekty wdrożenia, podkreślając włączenie nowych rozwiązań do komercyjnej wersji systemu Wayman oraz wskazując możliwości jego dalszego rozwoju.

II. Ocena merytoryczna rozprawy

2.1. Aktualność i znaczenie podjętej tematyki

W recenzowanej pracy omówiono zagadnienia dotyczące digitalizacji wybranych procesów realizowanych w przedsiębiorstwach projektowych działających w różnych branżach przemysłowych, w tym w branży okrętowej, oraz zaproponowano wsparcie realizacji tych procesów w postaci rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji. Tematyka pracy jest aktualna i istotna, a jej problematykę można rozpatrywać z kilku punktów widzenia. Kluczowym aspektem jest niewątpliwie aplikacyjny charakter pracy oraz fakt, że opracowane rozwiązania nie tylko zostały wdrożone w praktyce przemysłowej, lecz również przyniosły wymierne korzyści. Prace doktorskie o charakterze wdrożeniowym są szczególnie trudne w realizacji, ponieważ łączą świat nauki ze światem przemysłu, które niekiedy kierują się odmiennymi, a nawet sprzecznymi priorytetami. Przemysł dąży do pozyskania i wdrożenia w jak najkrótszym czasie rozwiązań użytecznych, wpływających pozytywnie na budowanie przewagi konkurencyjnej. Z kolei świat nauki koncentruje się na aspektach teoretycznych, dążąc do zapewnienia solidnych podstaw naukowych uzyskanych wyników, możliwie największej uniwersalności opracowywanych rozwiązań oraz powtarzalności stosowanych metodyk, co wymaga dodatkowego czasu i pogłębionych analiz. Doktorant musiał zatem pogodzić te odmienne oczekiwania, aby wypracować rezultaty stanowiące wartościowy wkład zarówno w rozwój dyscypliny naukowej — w tym przypadku inżynierii mechanicznej — jak i w praktykę przemysłową, reprezentowaną przez wielobranżowe przedsiębiorstwa projektowe.

Współcześnie funkcjonowanie przedsiębiorstw projektowych staje się coraz trudniejsze ze względu na rosnącą złożoność systemów technicznych. Dodatkowo poszczególne branże charakteryzują się specyficznymi wymaganiami, które muszą być uwzględniane w procesie projektowania. Dzisiejsze projekty realizowane są przez zespoły interdyscyplinarne, składające się ze specjalistów zobowiązanych do ścisłej współpracy w celu osiągnięcia założonych celów. W praktyce, w przypadku dużych projektów realizowanych w branży okrętowej, wiąże się to z koniecznością projektowania rozwiązań z obszarów mechaniki, automatyki, elektroniki, elektrotechniki, informatyki, telekomunikacji, bezpieczeństwa, inżynierii materiałowej czy inżynierii środowiska. Rozwiązania te muszą współdziałać w określonym zakresie, tworząc spójny system, gdyż jedynie zapewnienie interoperacyjności umożliwia zaprojektowanie w pełni użytecznego rozwiązania. W tym kontekście istotną rolę odgrywa inżynieria systemów

(ang. *systems engineering*), oferująca holistyczne podejście do rozwoju systemów, a także koncepcja systemu systemów (ang. *system of systems*), odnosząca się do współpracy wielu niezależnych systemów w ramach nadrzędnej całości funkcjonalnej. Łącznikiem dla zespołów interdyscyplinarnych rozwijających systemy techniczne jest inżynier produkcji, który potrafi zrozumieć oraz wesprzeć zadania realizowane przez specjalistów z różnych dziedzin.

Digitalizacja procesów jest obecnie koniecznością, natomiast niewykorzystywanie sztucznej inteligencji należy uznać za marnotrawstwo dostępnego potencjału. Biorąc pod uwagę fakt, że w wielu przedsiębiorstwach obszar digitalizacji pozostaje nadal niewystarczająco rozwinięty, podjęcie tej tematyki w ramach doktoratu wdrożeniowego jest w pełni uzasadnione. Podjęcie zagadnienia wdrażania rozwiązań sztucznej inteligencji do praktyki przemysłowej, przy istniejących obawach przedsiębiorstw dotyczących bezpieczeństwa danych, ochrony przewagi konkurencyjnej oraz ograniczonego zaufania pracowników do nowych technologii, należy ocenić jako ambitne i wymagające.

Podsumowując, podjęta tematyka jest aktualna i — ze względu na swój zakres — mieści się w obszarze inżynierii produkcji, należącej do dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

2.2. Realizacja badań i uzyskane rezultaty

W pracy zaproponowano kilka interesujących rozwiązań, które zostały wdrożone w praktyce. Zrealizowany projekt ma charakter interdyscyplinarny, a przygotowanie pracy wymagało od Doktoranta współpracy ze specjalistami z różnych dyscyplin. Można zatem uznać, że pełnił on rolę inżyniera produkcji, formułując założenia dla opracowywanych rozwiązań, identyfikując występujące zagrożenia, określając oczekiwania interesariuszy oraz pozyskując i przekazując dane specjalistom z zakresu informatyki. Ci z kolei opracowywali rozwiązania zgodne z przyjętymi założeniami, które następnie, w ramach eksperymentów prowadzonych przez Doktoranta, były oceniane względem ustalonych kryteriów.

Badania były dobrze zaplanowane. Doktorant rozpoczął je od przeglądu literatury, którego celem było potwierdzenie istnienia luki badawczej. Z praktyki przemysłowej wiedział już, że rozwiązania wykorzystujące sztuczną inteligencję, mogące stanowić wsparcie dla procesów realizowanych w przedsiębiorstwach projektowych, nie są dostępne na rynku. Przegląd literatury wykazał natomiast, że pewne rozwiązania były dotychczas proponowane, jednak nie doczekały się wdrożenia, a tym samym walidacji w praktyce przemysłowej, i nie zostały skomercjalizowane. Mając świadomość ograniczonego zaufania do rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji w branży, Doktorant w badaniach ankietowych poszukiwał

potwierdzenia istnienia przestrzeni oraz potrzeby podjęcia prac nad rozwojem rozwiązania SI, które mogłoby wspierać najbardziej problematyczny w branży proces planowania zasobów i ich obciążenia pracą, a także proces reagowania na zmiany planów spowodowane nieoczekiwanymi zaburzeniami, zarówno o charakterze zewnętrznym, jak i wewnętrznym. Jednocześnie analizowano, czy wdrożenie takiego rozwiązania może potencjalnie przynieść przedsiębiorstwom oszczędności zarówno czasowe, jak i finansowe. Wyniki badań ankietowych potwierdziły istnienie pola do dalszych działań.

Mając świadomość poziomu digitalizacji w firmach projektowych, w kolejnym etapie badań Doktorant przeprowadził analizę zawartości baz danych przedsiębiorstw projektowych, ograniczając się do użytkowników systemu Wayman. Chociaż stanowi to pewne ograniczenie pracy, nie zmniejsza ono jej wartości naukowej. W wyniku przeprowadzonych badań zidentyfikowano czynniki utrudniające wdrożenie sztucznej inteligencji, która do efektywnego działania wymaga danych odpowiednio sklasyfikowanych. Proces klasyfikacji był utrudniony z powodu braku wdrożonej standaryzacji. Przed Doktorantem stało zatem istotne zadanie polegające na wprowadzeniu standaryzacji, a następnie segmentacji danych z wykorzystaniem zaproponowanego narzędzia do segmentacji danych. W pierwszej kolejności wymagało to ustalenia klasyfikacji działań oraz dokumentacji stosowanej w wybranym do analizy sektorze okrętowym, a następnie przeprowadzenia segmentacji zadań w celu przypisania ich do poszczególnych klas i grup.

Opracowano dwa narzędzia: jedno przeznaczone do ręcznej segmentacji danych oraz drugie wspomagające proces segmentacji z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Doktorant opracował założenia dla obu narzędzi. Należy również podkreślić, że równoległe przeprowadził analizę dostępnych na rynku rozwiązań SI według przyjętych kryteriów, co pozwoliło potwierdzić zasadność wyboru narzędzia firmy OpenAI.

W kolejnym kroku przeprowadzono eksperymenty z zastosowaniem obu narzędzi do segmentacji danych. Uzyskane wyniki przechyliły szalę na korzyść rozwiązania do ręcznej segmentacji. Można zatem stwierdzić, że próba wdrożenia sztucznej inteligencji w tym obszarze zakończyła się niepowodzeniem. Doktorant podjął jednak analizę przyczyn tej sytuacji, wskazując na brak zaufania pracowników do rozwiązań opartych na SI, co prowadziło do wydłużenia czasu weryfikacji wyników segmentacji generowanych przez SI, a także na większą trudność obsługi narzędzia wykorzystującego sztuczną inteligencję.

W kolejnym etapie badań przygotowano i przeprowadzono eksperymenty dotyczące zastosowania sztucznej inteligencji do aktualizacji planów krótkoterminowych. W pierwszej kolejności wymagało to przygotowania danych wejściowych do trenowania oraz walidacji

algorytmów SI. Zadanie to miało istotne znaczenie i zostało zrealizowane z wykorzystaniem opracowanego przez Doktoranta algorytmu, umożliwiającego identyfikację danych historycznych powiązanych z procesem planowania oraz zmianami w planach krótkoterminowych. Dane historyczne przygotowano w oparciu o medianę czasu realizacji zadań, co stanowi rozwiązanie uzasadnione, ponieważ w przypadku braku normalności rozkładu czasów trwania zadań mediana jest bardziej wiarygodną miarą tendencji centralnej niż średnia arytmetyczna. Dodatkowo istotne było, aby zadania odnosiły się bezpośrednio do Uniwersalnego Spisu Działań i Dokumentacji (USD), co zapewniało poprawność działania rozwiązania opartego na SI.

Plan eksperymentu obejmował opracowanie nowych wersji planów krótkoterminowych zarówno w trybie manualnym, jak i z wykorzystaniem rozwiązania opartego na SI. Rozwiązania proponowane przez SI były następnie weryfikowane manualnie przez pracowników oraz w razie potrzeby korygowane. Wyniki eksperymentu wykazały, że wstępne przygotowanie planu przez SI znacząco skróciło czas realizacji procesu. Jednocześnie zidentyfikowano niedociągnięcia w działaniu sztucznej inteligencji, skutkujące błędami w ustalaniu prawidłowej sekwencji działań w nowym planie, które były korygowane przez pracowników na etapie weryfikacji planu wygenerowanego przez SI. Analiza promptu zaprezentowanego w rozdziale pracy dotyczącym wdrożenia rozwiązania w przedsiębiorstwie wskazuje, że nie zawarto w nim jednoznacznego polecenia dotyczącego zachowania logicznej kolejności działań w czasie.

Analizując zrealizowane zadania, można stwierdzić, że przyjęty plan badań został zrealizowany. Co istotne, opracowane rozwiązania wdrożono w praktyce przemysłowej. Przeprowadzone badania doprowadziły do osiągnięcia postawionych celów. Analiza uzyskanych efektów badań pozwala stwierdzić, że w pracy podjęto i rozwiązano oryginalny problem naukowy związany z wdrożeniem sztucznej inteligencji w przedsiębiorstwach projektowych. Autor potwierdził również zdolność do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Za wkład własny Doktoranta w realizację pracy uznaję:

- przygotowanie specyfikacji technicznej i funkcjonalnej nowych narzędzi informatycznych umożliwiających prawidłowe przygotowanie (segmentację) danych,
- opracowanie metody przygotowania danych wejściowych do modelu SI na podstawie historycznych zapisów planu krótkoterminowego,

- opracowanie listy atrybutów oraz specyfikacji technicznej formatowania plików CSV służących do zasilania modeli sztucznej inteligencji,
- opracowanie założeń oraz specyfikacji technicznej narzędzia do planowania,
- przeprowadzenie eksperymentów dotyczących segmentacji danych oraz generowania planów i opracowanie wniosków.

Zakres oraz poziom naukowy rozprawy spełniają wymagania stawiane pracom doktorskim w stopniu wystarczającym. Tematyka rozprawy mieści się w ramach dyscypliny inżynieria mechaniczna. Recenzowana praca może zatem stanowić podstawę do nadania stopnia naukowego doktora, pod warunkiem jej pozytywnej obrony.

2.3. Strona edytorska i redakcyjna pracy

Generalnie praca napisana jest poprawnym i zrozumiałym językiem. Występują w niej drobne usterki o charakterze edytorskim, stylistycznym lub redakcyjnym. Przykładowo:

- 1) niewłaściwe stosowanie słowa „ilość”, m.in. na str. 12: zamiast „Nominalna ilość roboczogodzin” powinno być „Nominalna liczba roboczogodzin”. Podobne błędy pojawiają się na str. 19: „W latach 2015 – 2020 ilość publikacji”, str. 20: „duża ilość zmian”, str. 22: „nie znaleziono znaczącej ilości artykułów”, str. 23: „uwzględnić większą ilość zmiennych”, str. 50: „określona w budżecie ilość godzin”, str. 66: zamiast „duża ilość zaangażowanych osób”, str. 76 „znaczej ilości przypadków”, str. 84 „maksymalna ilość punktów to 15”,
- 2) str. 17: „zyski wynikające ze wykonywania”,
- 3) str. 17: „są integralną częścią iteracyjnego procesu”,
- 4) str. 19: zdanie „Podstawowym procesem realizowanym w wielobranżowych projektowych firmach inżynierskich jest proces równoległej realizacji wielu projektów, pierwotną inspiracją w do podjęcia rozważań nad tematyką pracy doktorskiej...” jest niejasne,
- 5) str. 19: „moduły stanowi motywację”,
- 6) str. 22: „artykułów dotyczących badań dotyczących”,
- 7) str. 22: „który jest obecne”,
- 8) str. 25: „radzenia sobie z nieprzewidywalnym i szybkim zmianami”,
- 9) str. 25: „Nie poznano dotychczas odpowiedzi na pytanie, czy metody związane z innowacjami zapewniają wyższą wydajność. Lepszy wynik finansowy, większą rentowność.”,

- 10) str. 25: „Widoczna luka badawcza zaczyna uwidacznić się”,
- 11) str. 27: „Badania związane z implementacją tej metodologii”,
- 12) str. 27: „badania powinny zweryfikować, które metody rozwiązania są bardziej odpowiednie”,
- 13) str. 27: „niestabilność i zmienność danych ludzkich”,
- 14) str. 27: „potwierdzają istnienie luki badawczej Wskazują też”,
- 15) str. 28 „przedstawiona została na rysunku 1 poniżej, opis skrótów”,
- 16) str. 28 „za priorytet uważa realizację swojego projektu w budżecie, terminie i jakości”
- 17) str. 31: „niesie z sobą zagrożenia”,
- 18) str. 33: „Lokalny układ współrzędnych dł projektu”.
- 19) str. 35: zamiast „Proces oparty w inżynierskich firmach projektowych na bezpośrednich relacjach międzyludzkich...” powinno być „Proces pozyskiwania zamówień w inżynierskich firmach projektowych oparty jest na bezpośrednich relacjach międzyludzkich...”
- 20) str. 35: „procesów sprzedaży , brak im jednak”,
- 21) str. 36: „traktują zadania związane z ich projektami jako najbardziej priorytetowe” – pleonazm,
- 22) str. 37: „jednostką obciążenia projektanta jest miesiąc”,
- 23) str. 37: „odpowiada innemu projektowi, Komórki oznaczone”,
- 24) str. 39: „podejście rozróżniające plan długoterminowy i krótkoterminowy (Wayman), oraz podejście”,
- 25) str. 42: „Ostatnim i w kontekście niniejszej pracy najważniejszym zaburzeniem procesu projektowania jest zwłoka w podejmowaniu decyzji, wynikająca z braku danych i długiego czasu niezbędnego na zebranie danych ich przetworzenie i doprowadzenie to formy, w której możliwe jest podejmowanie na ich podstawie decyzji. Natura tego procesu, szczególnie w sytuacji w której dane zbierane i przetwarzane są ręcznie, czyni go bardzo pracochłonnym i wydłużonym w czasie.”,
- 26) str. 44: „W systemach AQAP szczególny nacisk kładziony jest na zarządzanie jakością, dlatego powszechnie wymagane jest dokumentacja dla sektora obronnego”,
- 27) str. 45: „Firmy muszą także w sposób ciągły rozwijać swoje własne zaplecze informatyczne, implementować nowe narzędzia, wdrażać je, doskonalić sposoby ich użycia i szkolić personel.” – tautologia,
- 28) str. 45: „systemy zarządzania, takie jak ISO i AQUAP, mają istotny wpływ”,
- 29) str. 46: „jednak nie są one z sobą zintegrowane”,



- 30) str. 52: „Nowe rozwiązania powinno być intuicyjne”,
- 31) str. 55: „ekstrakcję danych z środowisk baz danych”,
- 32) str. 56: „Badania realizowane były w celu opracowania, przetestowania i wdrożenie narzędzi wspierających”,
- 33) str. 56: „Zadanie badawcza polegało na przygotowaniu dwóch narzędzi”,
- 34) str. 56: „Celem naukowym było także dowiedzenie”,
- 35) str. 65 (Tabela 7): „Jak duży % budżetu przewidzianego za zarządzanie projektem” oraz „Jak duży jest the % budżetu finansowego projektu”,
- 36) str. 66: „zawsze bardziej preferują narzędzia”,
- 37) str. 66: Autor pisze „W przypadku sektora projektowania i inżynierii skala turbulencji związanych z portfelem projektów jest znacznie wyższa i znacznie częstsza niż w przypadku firmy handlowej.”. Skala turbulencji może być większa, ale nie może być częstsza.
- 38) str. 66 (Wykres 1): „Godziny pświęcone na planowanie zasobów,
- 39) str. 80: „przedstawiono wizualizację i model BIM omawianej instalacji na przykładzie jednego z wykonanych projektów pozyskaną z repozytorium systemu Wayman”,
- 40) str. 84: „ekstrakcję danych z środowisk baz danych”,
- 41) str. 84: „zespołu mechaników w burze projektowym”,
- 42) str. 87: „pozwalal na terminową realizację”,
- 43) str. 88: „skuteczności nowego rozwiązania gdzz zasilanie”,
- 44) str. 88: „string zawierający wartość atrybutu nazwa zadani”,
- 45) str. 92: „rozwiązana poddane analizie można uznać za porównywalne;”,
- 46) str. 92: „modelu sztucznej inteligencji udostępnionej przez zewnętrznego dostawce”,
- 47) str. 92: „Wnioski z wstępnego użycia zewnętrznego modelu SI”,
- 48) str. 101: powołanie na rys. 16 znajduje się po rysunku,
- 49) brak przecinków lub wstawione w niewłaściwych miejscach, np. str. 38: „rekordy nadrzędne które zawierają”, str. 103: „Istotne jest aby nowe”, str. 105: „jest rozwiązaniem typu on-premises, lub rozwiązaniem”, str. 205: „danych z których tworzone będą pliki CSV”,
- 50) str. 106: „pierwsza korzystała narzędzia do”,
- 51) str. 110: „algorytmów i funkcjonalności narzędzi . Jest to kluczowe”,
- 52) str. 132: „manager stając w oblicza konieczności podjęci decyzji”,
- 53) str. 161: „O głównych standardach zarz a dzania”,

54) Na stronie 38: Autor, odnosząc się do rysunku 3, stwierdza, że „podział czasowy ustalono na tygodnie, gdzie każda komórka odpowiada innemu projektowi”. Pojęcie „komórki” typowo odnosi się do struktury arkusza kalkulacyjnego, rozumianej jako przecięcie wiersza i kolumny. Ze względu na zbyt małą czcionkę oraz nieczytelność rysunku nie jest jednak możliwe jednoznaczne ustalenie, czy Autor posługuje się tym pojęciem w takim właśnie znaczeniu.

55) Opisy rysunków są niewystarczające. Na rysunku 4 nie wyjaśniono znaczenia wartości podanych w nawiasach przy kolumnach (np. „(168)”, „(160)”, „Limit [h]”), natomiast na rysunku 5 nie określono, czym są parametry „Budż. Pracowni” oraz „Limit w b.o.” ani w jakich jednostkach zostały one wyrażone. Rysunek 6 jest natomiast całkowicie nieczytelny i również pozbawiony odpowiedniego objaśnienia.

Wskazane usterki utrudniają miejscami lekturę pracy, jednak nie mają istotnego wpływu na jej ogólne zrozumienie.

Struktura pracy budzi pewne wątpliwości. W rozdziałach występują tzw. „teksty wiszące”, a niektóre z nich kończą się tabelami lub rysunkami (np. 5.3, 5.6.1, 7.1.3, 8.2.4). Podrozdział 7.2 prezentuje metodykę badań, natomiast dodatkowo podrozdziały rozdziału 8 zawierają opisy metodyk lub metodologii odnoszących się do poszczególnych etapów badań. Taki układ wprowadza chaos i utrudnia zrozumienie, jakie konkretne metody oraz narzędzia badawcze i analityczne zostały zastosowane w pracy, w jakim celu je wykorzystano oraz w jakiej postaci prezentowane będą wyniki poszczególnych badań i analiz.

W rozprawie przywołano 170 pozycji literaturowych. Cytowana literatura jest aktualna — około 84% przywołanych pozycji zostało opublikowanych po 2015 roku. Pozycje literaturowe zamieszczono w spisie w kolejności cytowania. Przegląd literatury oraz aktualnego stanu wiedzy z badanego obszaru jest syntetyczny (124 pozycje) i właściwie przedstawia stan wiedzy z punktu widzenia recenzowanej rozprawy doktorskiej.

2.4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

Każda praca naukowa rodzi określone pytania i wątpliwości, a także stanowi punkt wyjścia do dyskusji oraz wyznaczania kierunków dalszych badań. W tym kontekście przedstawiam swoje uwagi do recenzowanej rozprawy.

Metodologia jest nauką o metodach badań naukowych stosowanych w danej dziedzinie wiedzy. Wydaje się, że w analizowanej pracy Doktorant stosuje to pojęcie zamiennie z terminem metodyka, podczas gdy pojęcie metodologii nie znajduje w tej pracy właściwego

zastosowania. Dodatkowo fakt, że metodyka badań została opisana w wielu rozdziałach, a przedstawiane informacje częściowo się powtarzają lub wymagane jest zestawienie danych z kilku miejsc w celu uzyskania pełnego obrazu, utrudnia lekturę pracy. Przykładowo, na stronie 52 Autor wspomina o badaniach eksperymentalnych, walidacji rzeczywistej, analizach porównawczych oraz testach z wykorzystaniem rzeczywistych danych projektowych, jednak nie odnosi tych działań do konkretnych hipotez badawczych. Z kolei na stronie 54 Autor wskazuje, że „*badania przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej wdrożeniowej realizowane były w środowisku wielobranżowych inżynierskich firm projektowych z różnych sektorów inżynierii*”. Brakuje jednak informacji, pracownicy ilu przedsiębiorstw wzięli udział w badaniu — podano jedynie, że było to 1283 pracowników, w tym 430 reprezentujących sektor projektowania statków (str. 59). Można jedynie domniemywać, że badania obejmowały 20 przedsiębiorstw, wnioskując ze stwierdzenia, iż „*próbkę badawczą na etapie analizy zawartości baz danych tworzy 20 baz danych użytkowników systemu Wayman*” (str. 59).

Ponadto na stronie 62 Autor wskazuje, że „*w trakcie realizacji badań korzystano z bazy danych kontaktowych firmy Wayman obejmującej około 50 000 adresów mailowych pracowników wielobranżowych inżynierskich firm projektowych w Polsce*”. Poprawnie zaprezentowana metodyka badań ankietowych powinna jednak zawierać informacje dotyczące czasu realizacji badań (nie wystarczy wskazanie, że badania trwały dwa lata — istotne jest również określenie, kiedy były prowadzone, co świadczy o aktualności badań), liczby respondentów, do których skierowano ankietę, liczby respondentów, którzy udzielili odpowiedzi, liczby ankiet poddanych dalszej analizie po ewentualnym odrzuceniu odpowiedzi niespełniających kryteriów jakościowych, a także — w zależności od potrzeb badawczych — informacji o pochodzeniu respondentów (np. wielkości firmy, sektorze działalności).

W analizowanej pracy chaos w prezentowaniu metodyki badań powoduje, że część istotnych informacji nie została przedstawiona, podczas gdy inne są wielokrotnie powtarzane. Przykładowo informacja o 1283 osobach biorących udział w ankietyzacji pojawia się w pracy co najmniej trzykrotnie. Jednocześnie, biorąc pod uwagę fakt, że ankietyzacja była prowadzona w ramach badań ankietowych kadry kierowniczej (rozdz. 8.2), w ramach zbierania opinii na temat rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji (rozdz. 8.4, str. 84), jak również w celu zebrania opinii użytkowników i zrozumienia ich preferencji oraz doświadczeń (rozdz. 8.6, str. 106), nie jest jednoznacznie określone, ile osób brało udział w poszczególnych badaniach ankietowych. Na stronie 60 przedstawiono informację o dwóch dziesięcioosobowych grupach reprezentujących średnią kadrę kierowniczą, kierowników pracowni, projektantów prowadzących oraz kierowników projektów. Nie wskazano jednak, czy osoby te zostały



wylonione spośród wspomnianych 1283 respondentów ani według jakich kryteriów dokonano ich doboru. Nie jest również jasne, ile osób oraz jakie grupy uczestniczyły w Etapie VIII badań.

Dodatkowo w pracy nie zaprezentowano żadnego kompletnego formularza ankietowego, mimo że tabelę 7 zatytułowano „*Kwestionariusz kadry kierowniczej średniego szczebla wielobranżowych firm projektowych*”. Tabela ta nie ma jednak formy kwestionariusza, lecz stanowi raczej podsumowanie wyników badań. Ponadto konstrukcja odpowiedzi w pytaniach 4–7 jest niepoprawna metodologicznie, ponieważ zastosowane przedziały procentowe nachodzą na siebie, co uniemożliwia jednoznaczną interpretację odpowiedzi oraz rzetelną analizę statystyczną uzyskanych danych. Dodatkowo nie przedstawiono informacji dotyczących treści pytań o charakterze otwartym ani pytań stosowanych na pozostałych etapach badań. Zaprezentowanie jednego schematu obejmującego zarówno część badawczą, jak i wdrożeniową, w ujęciu osi czasu, znacząco ułatwiłoby zrozumienie całości prowadzonych prac.

Na stronie 71 Doktorant, odnosząc się do badania zawartości baz danych, stwierdza, że „*celem była weryfikacja zgodności danych zawartych w bazach danych użytkowników systemu Wayman z wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań ankietowych*”. Nie wskazano jednak jednoznacznie, w którym miejscu pracy zaprezentowano wyniki tej weryfikacji.

Mimo że plan badań zaprezentowany w tabeli 6 (str. 57–59) zawiera ponumerowane etapy badań, w opisie badań Autor nie odnosi się do konkretnych numerów etapów wskazanych w tabeli ani nie stosuje konsekwentnie nazw poszczególnych etapów. Nie jest również jednoznacznie określone, jakie są efekty poszczególnych etapów badań oraz które z nich zostały zrealizowane bezpośrednio przez Doktoranta.

Nie jest jasne, w jaki sposób dokonano analizy potencjału procesów (rozd. 5.6) w zakresie implementacji rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji. Autor pisze, że „*Opis potencjału poszczególnych procesów w obszarze implementacji rozwiązań opartych na SI zostało wykonane w ramach analizy obecnego stanu wiedzy z zakresu realizacji procesu projektowania w wielobranżowych firmach projektowych*” i powołuje się na pozycję literaturową [63]. W związku z tym nie jest jednoznaczne, czy źródłem tabeli 4 (str. 35–36) jest pozycja literatury [63], czy też tabela ta stanowi wynik pracy Doktoranta. Jeżeli tabela 4 jest wynikiem pracy Doktoranta, brak informacji dotyczących przyjętych kryteriów klasyfikacji procesów na procesy o niskim, średnim i wysokim potencjale wdrożenia rozwiązań opartych na SI. Nie jest również jasne, co oznacza „*potencjał procesów na implementację SI w obszarze inżynierii mechanicznej*”.

Prezentacja metodyki badań stanowi jeden z najsłabszych elementów pracy. W związku z tym proszę Doktoranta o syntetyczne i jednoznaczne przedstawienie zastosowanej metodyki badań, ze wskazaniem, jakie **metody i narzędzia badawcze** zostały przez Doktoranta wykorzystane na poszczególnych **etapach** badań oraz jakie były ich **efekty**.

Ponadto na stronie 54 Autor pisze, że „*wyłonionym w toku dogłębnej analizy procesem był proces planowania pracy projektantów i modyfikacji planów*”. Określenie tej analizy jako „dogłębnej” wydaje się w tym przypadku nieadekwatne. Dodatkowo w tabeli 4 nie występuje wskazany proces w takiej postaci. Zamiast tego ujęto tam „*proces planowania obciążenia zasobów ludzkich (projektantów)*” oraz „*proces zarządzania zmianami*”, co rodzi wątpliwości wynikające z braku spójności nazewnictwa oraz niejednoznaczności prezentowanych wniosków.

Na stronie 55 Autor pisze: „*Kolejnym krokiem zrealizowanym w ramach doktoratu wdrożeniowego było wytworzenie modułu SI w Wayman, zastąpienie formatu plików CSV danymi przekazywanymi w formie JSON i stworzeniem interfejsu użytkownika oraz autorskiego sposobu gromadzenia i wprowadzania danych wejściowych do modelu SI*”. Na podstawie tak sformułowanego stwierdzenia można wnioskować, że wynikiem pracy Doktoranta był autorski sposób gromadzenia oraz wprowadzania danych wejściowych do modelu SI. Dodatkowo na rysunku 19 (str. 119) pojawia się odniesienie do „*autorskiej metody przygotowania danych wejściowych do modelu SI*”. Jednocześnie z treści pracy wynika, że sam model SI został dostarczony przez zewnętrznego partnera (OpenAI) (str. 152). Na stronie 60, w rozdziale 7.2.3, Autor pisze, że „*wykonano także nowe moduły systemu Wayman, pozwalające na prowadzenie badań*”, a następnie je wymienia. Nie wskazano jednak, kto był wykonawcą tych modułów ani które ze wspomnianych w rozdziale 7.2.3 narzędzi badawczych zostały opracowane bezpośrednio przez Doktoranta.

W związku z powyższym proszę Doktoranta o wyjaśnienie, **jaki jest jego własny wkład w badania i analizy** przeprowadzone w ramach rozprawy, oraz o **wskazanie zakresu jego autorskich opracowań**.

Autor sformułował kluczowy problem badawczy (str. 49) w następujący sposób: „*Czy da się zastosować narzędzia sztucznej inteligencji w procesie planowania obciążenia inżynierskimi zadaniami projektowymi zasobów ludzkich w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych [111]? W jaki sposób narzędzia te mogą wspierać managerów w podejmowaniu decyzji, poprawiając efektywność projektową oraz minimalizując ryzyko nadmiernego obciążenia zasobów [112]? Jakie będą konsekwencje wdrożenia takiego narzędzia?*” **Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, czy sformułowane pytania zostały**

zaczepnięte z literatury, do której Autor się odnosi, czy też stanowią jego autorską propozycję. Dodatkowo proszę o zdefiniowanie pojęć „*efektywność projektowa*” oraz „*ryzyko nadmiernego obciążenia zasobów*” w kontekście omawianej pracy badawczej.

Na stronie 52 Autor formułuje hipotezy, natomiast w tabeli 20 (str. 131–132) odnosi do nich wyniki badań w sposób bardzo ogólny. Jednocześnie nie wskazuje wprost, że są to hipotezy badawcze, a nagłówki kolumn w tabeli 20 określa jako „*Opis celu badawczego*” oraz „*Opis sposobu osiągnięcia celu w pracy naukowej*”, odnosząc je odpowiednio do hipotez oraz powiązanej z nimi dyskusji. W odniesieniu do każdej z hipotez Autor stwierdza, że została ona potwierdzona. Należy jednak zauważyć, że hipotezy badawcze powinny być statystycznie uprawdopodobnione na podstawie danych empirycznych i ich analizy, natomiast tezy — jako twierdzenia — mogą być dowodzone i potwierdzane. W analizowanej pracy brak jest jednoznacznego rozróżnienia pomiędzy hipotezami a tezami, a także brak informacji dotyczących metod ich weryfikacji. Dodatkowo w wielu miejscach pracy Autor odwołuje się do „*tez*”, nie precyzując, o jakie tezy chodzi. Przykładowo: na stronie 54 („*Postawione tezy poddane zostały weryfikacji*”), stronie 55 („*Wyniki badań potwierdzały postawioną tezę*”), stronie 56 („*Badania w pierwszej części pracy naukowej koncentrowały się na wstępnym potwierdzeniu tezy*”), stronie 57 (tabela 6: „*Weryfikacja tezy dotyczącej wyboru procesu planowania*”), stronie 63 („*Celem naukowym było potwierdzenie sformułowanej tezy*”) oraz na stronie 130 („*Uzyskane wyniki potwierdziły postawioną na wstępie tezę*”).

Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, w jaki sposób w pracy rozumiane są pojęcia „hipoteza” i „teza”, które z formułowanych stwierdzeń mają charakter hipotez badawczych, a które tez, oraz jakie metody zostały zastosowane do ich weryfikacji.

Przy hipotezach zamieszczono odwołania do literatury. Czy oznacza to, że hipotezy nie zostały sformułowane przez Doktoranta, lecz zostały zaczerpnięte z literatury? **Proszę o wyjaśnienie.**

W przypadku hipotezy głównej analiza dotyczy danych powiązanych z „*efektywnością realizacji procesu projektowania*”, „*jakością realizacji projektów*” oraz „*kosztami operacyjnymi*”. W odniesieniu do „*efektywności realizacji procesu projektowania*” Autor wyjaśnia, że rozumie ją jako „*zwiększenie efektywności operacyjnej, w rozumieniu efektywności realizacji prac projektowych, poprzez znaczące skrócenie procesu podejmowania decyzji*” (str. 52). Jednocześnie wskazuje, że „*skrócenie czasu niezbędnego do podjęcia decyzji automatycznie przekłada się na oszczędności finansowe*”, co ma oznaczać potwierdzenie redukcji kosztów operacyjnych. W tabeli 20, omawiając sposób osiągnięcia celu w pracy naukowej w odniesieniu do hipotezy głównej, Autor nie odnosi się jednak do „*jakości realizacji*”

projektów”, a jedynie do zmniejszenia liczby błędów, co dodatkowo utrudnia interpretację przyjętych kryteriów oceny. **Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, czy weryfikacja hipotezy głównej dotyczyła jakości realizacji projektów, jakości procesu planowania, czy innego aspektu, a także o doprecyzowanie przyjętych definicji oraz zastosowanych mierników.**

W odniesieniu do hipotezy szczegółowej 1: „*Narzędzia sztucznej inteligencji umożliwiają automatyczne generowanie racjonalnych planów realizacji prac projektowych [120], które są dostępne szybciej w porównaniu z metodami manualnymi i mogą przedstawiać alternatywne scenariusze planowania, uzależnione od założeń początkowych [121]*” w tabeli 20 odniesiono się w zasadzie wyłącznie do kryterium czasu, wskazując, że możliwe było wygenerowanie kilku wariantów planów realizacji w czasie rzędu kilkunastu minut, co nie jest sformułowaniem wystarczająco precyzyjnym. Nie zdefiniowano bowiem, jakie cechy decydują o racjonalności planów ani według jakich kryteriów były one oceniane. Dodatkowo plany generowane przez rozwiązanie oparte na SI były następnie weryfikowane, a w razie potrzeby korygowane przez menedżerów, co rodzi wątpliwości, czy można je uznać za w pełni racjonalne i wiarygodne w rozumieniu przyjętej hipotezy. **Proszę Doktoranta o doprecyzowanie przyjętych kryteriów oceny racjonalności planów oraz wyjaśnienie, w jaki sposób fakt konieczności ich weryfikacji i korekty został uwzględniony w procesie weryfikacji hipotezy.**

Z hipotezy szczegółowej 2: „*Wdrożenie systemów wspierających decyzje oparte na SI redukuje ryzyko błędów wynikających z subiektywnych decyzji managerów i braku pełnych danych [122]*” można wnioskować, że zastosowanie takich systemów prowadzi do redukcji ryzyka błędów. Tymczasem w pracy nie przedstawiono danych ilościowych dotyczących liczby błędów ani metod ich szacowania, co utrudnia ocenę stopnia, w jakim ryzyko to zostało faktycznie zredukowane. Jedynie w tabeli 14 (str. 107) przy liczbie błędów wskazano „*niskie*”, w odniesieniu do metody manualnej, oraz „*podobna*”, w odniesieniu do metody wykorzystującej SI. **Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, jakie mierniki oraz dane empiryczne zostały wykorzystane do weryfikacji hipotezy szczegółowej 2.**

Z hipotezy szczegółowej 3 „*Standaryzacja danych projektowych zwiększa jakość planów generowanych przez zewnętrzne modele SI wykorzystujące modele predykcyjne i pozwala na precyzyjne przewidywanie skutków wprowadzanych zmian i zaburzeń dla procesu realizacji projektów [121]*” można wnioskować, że jakość planów uległa poprawie w wyniku wdrożenia zaproponowanych rozwiązań. W pracy nie przedstawiono jednak analiz statystycznych weryfikujących tę hipotezę, w szczególności analiz porównawczych danych dotyczących planów sprzed oraz po wdrożeniu rozwiązania opartego na SI. Dodatkowo Autor

stwierdza, że „wprowadzenie do modelu SI danych ze słowników zadań [...] zwiększyło stabilność i trafność prognoz budżetowych” oraz że „modele były w stanie przewidywać konsekwencje zakłóceń z większą precyzją niż tradycyjne metody”. Nie wyjaśniono jednak, co w pracy rozumiane jest przez „jakość planów”, „stabilność” oraz „trafność prognoz”, ani w jaki sposób te wielkości zostały zmierzone i zweryfikowane empirycznie. **Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, jakie mierniki jakości planów oraz stabilności i trafności prognoz zostały przyjęte, jakie dane empiryczne wykorzystano do ich oceny oraz w jaki sposób przeprowadzono weryfikację hipotezy szczegółowej 3.**

Prowadząc dyskusję w odniesieniu do **hipotezy szczegółowej 4** „*Nowe rozwiązania powinno być intuicyjne i uznawane przez użytkowników za przydatne, co wpłynie na akceptację i efektywność ich wdrożenia w praktyce pod warunkiem zachowania ich decyzyjności, która jest podstawą odpowiedzialności w inżynierskich firmach projektowych [123]*” Autor stwierdza, że „*Badania ankietowe wykazały wysoką akceptację użytkowników dla systemów SI, o ile pozostawiają one ostateczną decyzję po stronie człowieka.*” Nie wskazano jednak, których konkretnie badań ankietowych dotyczy to stwierdzenie ani w którym miejscu pracy zaprezentowano wyniki analiz potwierdzających weryfikację tej hipotezy. **Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, jakie badania stanowiły podstawę sformułowanego wniosku oraz jakie metody statystyczne zostały zastosowane w celu weryfikacji hipotezy szczegółowej 4.**

Jedynie, odnosząc się do badań dotyczących różnic pomiędzy sektorem okrętowym a pozostałymi sektorami inżynierii w zakresie wprowadzania zmian do planów pracy projektowej, gotowości do wykorzystania narzędzi automatyzujących oraz oceny potencjalnego wpływu eliminacji działań manualnych, Autor opisuje zastosowane metody analizy statystycznej (str. 68). Wskazuje, że „*Niezależność rozkładów sprawdzano testem chi-kwadrat [138], przyjmując jako hipotezę zerową brak różnic między sektorem okrętowym, a pozostałymi sektorami. Dla wybranych, binarnych porównań obliczano także ilorazy szans (OR) wraz z 95-procentowymi przedziałami ufności oraz stosowano test dokładny Fishera [139], co pozwala na rzetelną ocenę siły i istotności różnic nawet przy mniejszych liczebnościach w komórkach. Dodatkowo, udział poszczególnych odpowiedzi wewnątrz samego sektora okrętowego prezentowano z 95-procentowymi przedziałami ufności Wilsona [140], aby pokazać nie tylko punktowe oszacowania proporcji, lecz także ich precyzję.*” W pracy nie zaprezentowano jednak żadnych wyników wymienionych testów statystycznych, ograniczając się jedynie do ogólnych stwierdzeń, takich jak „*różnice są bardzo wyraźne i statystycznie jednoznaczne*” czy „*różnice te są statystycznie istotne*”. Brakuje zatem informacji dotyczących poziomów istotności (*p-value*) oraz innych parametrów statystycznych właściwych dla

zastosowanych metod. Ponadto Autor wspomina o tablicach częstości zawierających dane ale nie prezentuje ich w pracy. **Proszę Doktoranta o przedstawienie wyników przeprowadzonych analiz statystycznych oraz wyjaśnienie, w jaki sposób dokonano oceny istotności i siły zaobserwowanych różnic w odniesieniu do przywołanych testów.**

Nie jest jasno przedstawiona metodyka porównania dostępnych na rynku rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji w kontekście zdefiniowanych kryteriów oceny (str. 83). Doktorant wskazuje, że „zdefiniowano kryteria oceny rozwiązań” oraz że „przeprowadzono analizę porównawczą dla wybranych rozwiązań realizując ocenę wag przy użyciu metody eksperckiej pozyskując przy użyciu badań ankietowych opinie kluczowych osób”. **Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, kto zdefiniował kryteria oceny, w jaki sposób ustalono wagi poszczególnych kryteriów, ilu ekspertów brało udział w procesie oceny oraz jaka była ich rola, co w praktyce oznacza możliwość przyznania od 1 do 5 punktów i jak interpretowana jest ta skala ocen, z czego wynika założenie, że w każdym kryterium maksymalna liczba punktów wynosi 15, ile osób wzięło udział w badaniach ankietowych oraz na jakiej podstawie wyznaczono wartości procentowe zaprezentowane w tabeli 10.**

Proszę również o **ustosunkowanie się** do następujących uwag:

- Rysunek 2 (str. 28) prezentuje przykładową strukturę macierzową wielobranżowej firmy projektowej z branży okrętowej. W zaprezentowanej strukturze brakuje jednak uwzględnienia ról kierowników poszczególnych projektów oraz dyrektora projektów, które w tego typu organizacjach mają istotne znaczenie.
- Stwierdzenie „*Wielobranżowa firma projektowa w wyniku sinusoidalnego w czasie charakteru obciążenia organizacji pracą*” (str. 31) jest mało precyzyjne. Bardziej adekwatne wydaje się określenie zmiennego w czasie charakteru obciążenia pracą, niekoniecznie o przebiegu sinusoidalnym.
- Autor wskazuje przykładowe instytucje jako towarzystwa klasyfikujące w sektorze przemysłu okrętowego, sprawujące nadzór techniczny oraz formalno-prawny: Det Norske Veritas, American Bureau of Shipping, Lloyd Register (str. 31). Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, czy wymienione towarzystwa klasyfikacyjne są uznane przez Komisję Europejską, a jeśli tak — o wskazanie dokumentu źródłowego potwierdzającego to uznanie.
- W stwierdzeniu „*Iteracyjny proces projektowy dla wielobranżowych firm inżynierskich przebiega zgodnie z metodologią modelu spiralnego*” (str. 32) nie jest jednoznaczne, czy Autor odnosi się do procesu projektowego realizowanego w wielobranżowych firmach

- inżynierskich, czy do procesu projektowego realizowanego na ich rzecz. Proszę o doprecyzowanie.
- Autor pisze, że tabela 3 przedstawia „*przykładowe różnice w składni dla firm wykonujących projekty przemysłowe*” (str. 32). Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, na jakiej podstawie tabela ta została opracowana.
 - Rozdział 5.5 zatytułowany „Procesy służebne” rozpoczyna się od odniesienia do procesów pomocniczych, bez jednoznacznego wyjaśnienia relacji pomiędzy tymi pojęciami (str. 33). W całej pracy Autor wyróżnia zasadniczo procesy służebne oraz procesy główne, co budzi wątpliwości w kontekście teorii zarządzania procesami, w której wyodrębnia się również procesy zarządcze. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie podstaw przyjętej klasyfikacji oraz o doprecyzowanie, co w kontekście pracy rozumiane jest przez procesy „operacji”, „kontraktacji” i „zarządzania podwykonawcami”.
 - Autor pisze, że „*w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych wykonywane są zazwyczaj trzy główne rodzaje planów pracy/obciążenia firmy*” (str. 40), nie wyjaśnia jednak, jakie konkretnie trzy rodzaje planów ma na myśli.
 - Autor pisze, że plan krótkoterminowy dopuszcza „*zarówno wcześniejsze rozpoczęcie realizacji zadania, jak i wydłużenie realizacji zadania poza termin określony w harmonogramie, oczywiście w sytuacji, w której nie stanowi to istotnego zagrożenia dla istotnych kamieni milowych projektu*” (str. 40). Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, w jaki sposób definiowane są „istotne kamienie milowe projektu”, co w tym kontekście oznacza wystąpienie „istotnego zagrożenia” oraz jakie kryteria przyjęto do oceny „istotności” w opisaney sytuacji.
 - Proszę o wskazanie źródła informacji, że wartość marży wielobranżowych inżynierskich firm projektowych to zazwyczaj około 6%.
 - W kilku miejscach pracy Autor odnosi się do danych lub informacji „wrażliwych” (str. 57, 59, 71, 105, 122). Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, czy w istocie chodzi o dane wrażliwe, czy raczej o dane osobowe bądź dane poufne, a także o doprecyzowanie, jakie definicje tych trzech kategorii danych zostały przyjęte.
 - Na stronie 62 Autor stwierdza, że „*przez cały czas trwania badań opublikowano ponad 130 artykułów na blogu firmy Wayman*”. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, czy był on autorem tych publikacji lub czy brał udział w ich przygotowaniu, a także czy uczestniczył w organizacji konkursów, o których mowa w kolejnym akapicie tej samej strony.

- W pracy pojawiają się określenia „macierz planowania zasobów” (str. 65), „macierz obciążenia zasobów” (str. 135) oraz „macierz zasobów” (str. 69), które są stosowane zamiennie. Proszę Doktoranta o jednoznaczne doprecyzowanie znaczenia użytych pojęć.
- Na stronie 89 Autor stwierdza, że „funkcją celu była minimalizacja opóźnień i równoważne obciążenie projektantów”. Proszę Doktoranta o wskazanie matematycznego zapisu tej funkcji celu lub o wyjaśnienie, w jaki sposób została ona sformalizowana w przeprowadzonych analizach.
- Skąd wzięła się wartość 84% w zdaniu „Które zdobyło w toku badań ankietowych prowadzonych w firmie Wayman 84% możliwych punktów.” (str. 92)?
- Autor pisze, że „w tabeli 12 przedstawiono przykładowe zestawienie klas i grup stosowane w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych w sektorze okrętowym.” (str. 96). Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, dlaczego zaprezentowano jedynie przykładowe zestawienie oraz czy do realizacji badań nie była wymagana kompletna klasyfikacja.
- Z czego wynika zastosowanie dwóch różnych formatów daty: „DD.MM.YYYY” (str. 89), „YYYY-MM-DD” (str. 113)?
- W zdaniu: „Atrybut to Integer, określa typowy limit godzin dla zadania danego typu określony na podstawie doświadczenia, statystyki, przekonać inżyniera budującego USD.” (tab. 13, str. 99) użyto sformułowania, które jest niejasne. Proszę Doktoranta o wyjaśnienie, co oznacza zwrot „przekonać inżyniera budującego USD” w kontekście opisu atrybutu.
- Na podstawie jakich danych opracowano wykres 2 zatytułowany „Zestawienie średnich wartości kluczowych parametrów wyników badań” (str. 109) oraz jakiego okresu dotyczyły dane wykorzystane do jego sporządzenia?
- Nie wszystkie skróty i definicje stosowane w pracy zostały wyjaśnione w rozdziale 1, m.in. SIWZ, SAP, IFS, PDM, CSV, JSON, JHL oraz SFI.
- Czy projektowanie interfejsów opracowywanych systemów było zadaniem Doktoranta? Jeżeli tak, proszę o wskazanie, jaką metodykę zastosowano.
- Na stronie 107 Autor odnosi się do krzywej uczenia się, nie prezentując jej w pracy ani nie przywołując literatury źródłowej, do której można byłoby się odnieść.
- Autor pisze: „Na podstawie przeglądu literatury i analizy rynku wyodrębniono pięciu głównych dostawców rozwiązań SI: OpenAI, Microsoft, Amazon, IBM, Google (stan na koniec listopada 2024). Dla wybranych dokonano analizy porównawczej” (str. 84). Tymczasem w tabeli 10 uwzględniono wszystkich wymienionych dostawców, co sprawia, że sformułowanie „dla wybranych” jest niejasne i wymaga doprecyzowania.

- Czy w odpowiedzi na pytanie 9 w tabeli 7 sformułowanie „*Nigdy jest to zbędne*” należy rozumieć jako „Nigdy, jest to zbędne”, czy jako „Nigdy nie jest to zbędne”?
- Algorytmy przedstawione na rys. 17 i 19 są poprawne koncepcyjnie, jednak zawierają niejednoznaczności w zakresie przejść decyzyjnych, co utrudnia jednoznaczną interpretację ich przebiegu. Natomiast algorytm przedstawiony na rysunku 8 (str. 72) zawiera błąd logiczny. Z bramki decyzyjnej wyjście oznaczone jako „TAK” prowadzi do dokumentu, zamiast do kolejnego kroku procesu.

Wskazane uwagi o charakterze dyskusyjnym i krytycznym, chociaż obniżają wartość pracy, to nie wpływają na ostateczną, pozytywną jej ocenę.

III. Podsumowanie i wniosek końcowy

W pracy doktorskiej autorstwa mgr inż. Piotra Bilona podjęto i rozwiązano oryginalny problem naukowy związany z rozwojem oraz wdrożeniem narzędzia wspomaganego sztuczną inteligencją, przeznaczonego do wsparcia procesu planowania działań projektowych w przedsiębiorstwie projektowym.

Chociaż strona naukowa pracy wykazuje wyraźne ograniczenia, jej użyteczny charakter w pewnym stopniu rekompensuje wskazane braki.

Autor rozprawy rozwiązał postawiony problem naukowy, wdrożył wyniki badań w praktyce oraz wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa spełnia wymagania ustawowe, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668 z późn. zm.) stawiane Kandydatom do stopnia naukowego doktora. Wnioskuje zatem do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Dorota Stodnińska