



Imię i nazwisko autora rozprawy: Piotr Bilon

Dyscyplina naukowa: Inżynieria Mechaniczna

ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: „Digitalizacja wybranych procesów w wielobranżowej firmie projektowej z uwzględnieniem SI dla wybranych procesów”

Tytuł rozprawy w języku angielskim: „Digitalization of selected processes in a multi-disciplinary design company, taking into account AI for selected processes”

Promotor	Drugi Promotor
Dr hab. inż. Wojciech Litwin	
Promotor pomocniczy	Kopromotor



The author of the PhD dissertation: Piotr Bilon

Scientific discipline: Mechanical Engineering

DOCTORAL DISSERTATION

Title of PhD dissertation: „Digitalization of selected processes in a multi-disciplinary design company, taking into account AI for selected processes”

Title of PhD dissertation: (in Polish): „Digitalizacja wybranych procesów w wielobranżowej firmie projektowej z uwzględnieniem SI dla wybranych procesów”

Supervisor	Second supervisor
Signature	signature
Dr hab. inż. Wojciech Litwin	-
Auxiliary supervisor	Cosupervisor
Signature	signature
-	-



OŚWIADCZENIE

Autor rozprawy doktorskiej: Piotr Bilon

Ja, niżej podpisany(a), wyrażam zgodę na bezpłatne korzystanie z mojej rozprawy doktorskiej zatytułowanej:

„Digitalizacja wybranych procesów w wielobranżowej firmie projektowej z uwzględnieniem SI dla wybranych procesów”

do celów naukowych lub dydaktycznych¹.

Gdańsk, dnia

.....
podpis doktoranta

Świadomy odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2006 r., nr 90, poz. 631) i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz. U. z 2012 r., poz. 572 z późn. zm.)², a także odpowiedzialności cywilno-prawnej oświadczam, że przedkładana rozprawa doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie.

Oświadczam, że treść rozprawy opracowana została na podstawie wyników badań prowadzonych pod kierunkiem i w ścisłej współpracy z promotorem dr hab. inż. Wojciechem Litwinem, prof. PG.

Niniejsza rozprawa doktorska nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem stopnia doktora. Wszystkie informacje umieszczone w ww. rozprawie uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami zgodnie z art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych. Potwierdzam zgodność niniejszej wersji pracy doktorskiej z załączoną wersją elektroniczną.

Gdańsk, dnia

.....
podpis doktoranta

Ja, niżej podpisany, wyrażam zgodę na umieszczenie ww. rozprawy doktorskiej w wersji elektronicznej w otwartym, cyfrowym repozytorium instytucjonalnym Politechniki Gdańskiej, Pomorskiej Bibliotece Cyfrowej oraz poddawania jej procesom weryfikacji i ochrony przed przywłaszczeniem jej autorstwa.

Gdańsk, dnia

.....
podpis doktoranta

1.Zarządzenie Rektora Politechniki Gdańskiej nr 34/2009 z 9 listopada 2009 r., załącznik nr 8 do instrukcji archiwalnej PG.

2.Ustawa z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym: Rozdział 7 Odpowiedzialność dyscyplinarna doktorantów, Art. 226.



STATEMENT

The author of the PhD dissertation: Piotr Bilon

I, the undersigned, agree that my PhD dissertation entitled:

„Digitalization of selected processes in a multi-disciplinary design company, taking into account AI for selected processes”

may be used for scientific or didactic purposes¹.

Gdańsk,.....

.....

signature of the PhD student

Aware of criminal liability for violations of the Act of 4th February 1994 on Copyright and Related Rights (Journal of Laws 2006, No. 90, item 631) and disciplinary actions set out in the Law on Higher Education (Journal of Laws 2012, item 572 with later amendments)², as well as civil liability, I declare, that the submitted PhD dissertation is my own work.

I declare, that the submitted PhD dissertation is my own work performed under and in cooperation with the supervision of Wojciech Litwin.

This submitted PhD dissertation has never before been the basis of an official procedure associated with the awarding of a PhD degree.

All the information contained in the above thesis which is derived from written and electronic sources is documented in a list of relevant literature in accordance with art. 34 of the Copyright and Related Rights Act. I confirm that this PhD dissertation is identical to the attached electronic version.

Gdańsk,.....

.....

signature of the PhD student

I, the undersigned, agree to include an electronic version of the above PhD dissertation in the open, institutional, digital repository of Gdańsk University of Technology, Pomeranian Digital Library, and for it to be submitted to the processes of verification and protection against misappropriation of authorship.

Gdańsk,.....

.....

signature of the PhD student

¹ Decree of Rector of Gdansk University of Technology No. 34/2009 of 9th November 2009, TUG archive instruction addendum No. 8.

² Act of 27th July 2005, Law on Higher Education: Chapter 7, Criminal responsibility of PhD students, Article 226.



OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autor rozprawy doktorskiej: Piotr Bilon

Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim: „Digitalizacja wybranych procesów w wielobranżowej firmie projektowej z uwzględnieniem SI dla wybranych procesów”

Tytuł rozprawy w języku angielskim: „Digitalization of selected processes in a multi-disciplinary design company, taking into account AI for selected processes”

Język rozprawy doktorskiej: polski

Promotor rozprawy doktorskiej: Wojciech Litwin

Data obrony:

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku polskim: planowanie inżynierskich prac projektowych, projektowanie statków, projektowanie przemysłowe, inżynieria mechaniczna, efektywność projektowania, wielobranżowe firmy inżynierskie, sztuczna inteligencja, digitalizacja, ERP, efektywność operacyjna, wdrożenie.

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku angielskim: engineering project planning, ship design, industrial design, mechanical engineering, design efficiency, multidisciplinary engineering companies, artificial intelligence (AI), digitalization/digitization, Enterprise Resource Planning (ERP), operational efficiency, implementation.

Streszczenie rozprawy w języku polskim: Rozprawa doktorska wdrożeniowa dotyczy digitalizacji procesu planowania prac projektowych i procesu zmian planu pracy projektantów w wyniku zaburzeń, w wielobranżowych firmach projektowych, ze szczególnym uwzględnieniem firm z sektora okrętowego. Digitalizacja obejmuje wykorzystanie sztucznej inteligencji, w celu automatyzacji planowania i reakcji na zaburzenia w realizacji prac projektowych. Zadaniem badawczym i wdrożeniowym było opracowanie i wdrożenie unikalnej architektury integracyjnej i wytworzenie nowych modułów systemu wspierających segmentację danych, oraz dzięki integracji z SI automatyzację alokacji zasobów, oraz szybkie reagowanie na zaburzenia procesu projektowania. W pracy wykorzystano historyczne, rzeczywiste dane z dwudziestu baz użytkowników systemu ERP oraz wyniki ankiet 1283 obecnych i potencjalnych użytkowników systemu ERP, pracowników wielobranżowych firm projektowych. Opracowane nowe narzędzia w systemie ERP, zintegrowane z SI, zostały wdrożone i przetestowane w realnym środowisku inżynierskich firm projektowych, także z sektora okrętowego. Wyniki potwierdziły skrócenie czasu reakcji na zaburzenia, poprawę precyzji planowania oraz potwierdziły możliwość redukcji kosztów operacyjnych, których poziom jest uzależniony od okoliczności i skali zaburzeń. Implementacja rozwiązań przyczyniła się do poprawy funkcjonowania, wzrostu efektywności operacyjnej i konkurencyjności firm projektowych, stanowiąc istotny wkład w rozwój technologii wspierających planowanie,

zmiany planów w reakcji na zaburzenia i finalnie realizację prac projektowych w inżynierskich firmach projektowych.

Streszczenie rozprawy w języku angielskim: This doctoral dissertation addresses the digitalization of the design planning process and the process of changing designers' work plans as a result of disruptions in multidisciplinary engineering design companies, with particular emphasis on companies in the ship design sector. Digitalization contains the use of artificial intelligence to automate planning and response to disruptions in design work. The research and implementation task was to develop and implement a unique integration architecture and create new ERP system modules supporting data segmentation. Newly developed ERP system modules integrated with AI allow for the automation of resource allocation and rapid response to disruptions in the design process. The work utilizes historical, real-world data from twenty ERP system user databases and survey results from 1,283 current and potential ERP system users, including employees of multidisciplinary engineering design companies. The new ERP system modules, integrated with AI, were implemented and tested in the real-world environment of engineering companies, including those in the shipbuilding sector. The results confirmed a reduction in response time to disruptions, improved planning precision, and the potential for reducing operating costs, the level of which depends on the circumstances and the scale of disruptions. The implementation of solutions has contributed to the improvement of functioning, increase of operational efficiency and competitiveness of design companies, constituting a significant contribution to the development of technologies supporting planning, changes of plans in response to disruptions and ultimately the implementation of design work in engineering design companies.



DESCRIPTION OF DOCTORAL DISSERTATION

The Author of the PhD dissertation: Piotr Bilon

Title of PhD dissertation: „Digitalization of selected processes in a multi-disciplinary design company, taking into account AI for selected processes”

Title of PhD dissertation in Polish: „Digitalizacja wybranych procesów w wielobranżowej firmie projektowej z uwzględnieniem SI dla wybranych procesów”

Language of PhD dissertation: polish

Supervision: Wojciech Litwin

Date of doctoral defense:

Keywords of PhD dissertation in Polish: planowanie inżynierskich prac projektowych, projektowanie statków, projektowanie przemysłowe, inżynieria mechaniczna, efektywność projektowania, wielobranżowe firmy inżynierskie, sztuczna inteligencja, digitalizacja, ERP, efektywność operacyjna, wdrożenie.

Keywords of PhD dissertation in English: engineering project planning, ship design, industrial design, mechanical engineering, design efficiency, multidisciplinary engineering companies, artificial intelligence (AI), digitalization/digitization, Enterprise Resource Planning (ERP), operational efficiency, implementation.

Summary of PhD dissertation in Polish: Rozprawa doktorska wdrożeniowa dotyczy digitalizacji procesu planowania prac projektowych i procesu zmian planu pracy projektantów w wyniku zaburzeń, w wielobranżowych firmach projektowych, ze szczególnym uwzględnieniem firm z sektora okrętowego. Digitalizacja obejmuje wykorzystanie sztucznej inteligencji, w celu automatyzacji planowania i reakcji na zaburzenia w realizacji prac projektowych. Zadaniem badawczym i wdrożeniowym było opracowanie i wdrożenie unikalnej architektury integracyjnej i wytworzenie nowych modułów systemu wspierających segmentację danych, oraz dzięki integracji z SI automatyzację alokacji zasobów, oraz szybkie reagowanie na zaburzenia procesu projektowania. W pracy wykorzystano historyczne, rzeczywiste dane z dwudziestu baz użytkowników systemu ERP oraz wyniki ankiet 1283 obecnych i potencjalnych użytkowników systemu ERP, pracowników wielobranżowych firm projektowych. Opracowane nowe narzędzia w systemie ERP, zintegrowane z SI, zostały wdrożone i przetestowane w realnym środowisku inżynierskich firm projektowych, także z sektora okrętowego. Wyniki potwierdziły skrócenie czasu reakcji na zaburzenia, poprawę precyzji planowania oraz potwierdziły możliwość redukcji kosztów operacyjnych, których poziom jest uzależniony od okoliczności i skali zaburzeń. Implementacja rozwiązań przyczyniła się do poprawy funkcjonowania, wzrostu efektywności operacyjnej i

konkurencyjności firm projektowych, stanowiąc istotny wkład w rozwój technologii wspierających planowanie, zmiany planów w reakcji na zaburzenia i finalnie realizację prac projektowych w inżynierskich firmach projektowych.

Summary of PhD dissertation in English: This doctoral dissertation addresses the digitalization of the design planning process and the process of changing designers' work plans as a result of disruptions in multidisciplinary engineering design companies, with particular emphasis on companies in the ship design sector. Digitalization contains the use of artificial intelligence to automate planning and response to disruptions in design work. The research and implementation task was to develop and implement a unique integration architecture and create new ERP system modules supporting data segmentation. Newly developed ERP system modules integrated with AI allow for the automation of resource allocation and rapid response to disruptions in the design process. The work utilizes historical, real-world data from twenty ERP system user databases and survey results from 1,283 current and potential ERP system users, including employees of multidisciplinary engineering design companies. The new ERP system modules, integrated with AI, were implemented and tested in the real-world environment of engineering companies, including those in the shipbuilding sector. The results confirmed a reduction in response time to disruptions, improved planning precision, and the potential for reducing operating costs, the level of which depends on the circumstances and the scale of disruptions. The implementation of solutions has contributed to the improvement of functioning, increase of operational efficiency and competitiveness of design companies, constituting a significant contribution to the development of technologies supporting planning, changes of plans in response to disruptions and ultimately the implementation of design work in engineering design companies.

PODZIĘKOWANIA

Liczba osób, które w toku prac badawczych i wdrożeniowych okazały mi życzliwość, wsparcie i pomoc jest tak duża, że nie sposób ich wszystkich wymienić w tych zwięzłych podziękowaniach. Wszystkim jestem jednak niezmiernie wdzięczny. Szczególnie podziękowanie składam mojemu promotorowi, prof. dr hab. inż. Wojciechowi Litwinowi, którego nieustanne zaangażowanie i nieocenione wskazówki przyczyniły się do znaczącego rozwoju niniejszej pracy. Chciałbym podziękować także pracownikom firmy Wayman, bez których kreatywności i profesjonalizmu oraz determinacji w dążeniu do celu ukończenie prac badawczych i wdrożeniowych nie byłoby możliwe. Bardzo dziękuję społeczności użytkowników systemu Wayman za nieustającą inspirację i gotowość do testowania nowych rozwiązań i koncepcji. Na koniec, z równą wdzięcznością, pragnę podziękować moim najbliższym za ich zrozumienie, wsparcie i cierpliwość oraz wiarę w to, że osiągnę zamierzony cel.

SPIS TREŚCI

1.	Spis symboli i skrótów	12
2.	Streszczenie.....	14
3.	Wstęp (geneza i motywacja)	17
4.	Analiza literatury	21
5.	Analiza obecnego stanu wiedzy z zakresu realizacji procesu projektowania.....	28
5.1.	Struktura organizacyjna wielobranżowej firmy projektowej	28
5.2.	Dystrybuowane sieci powiązań między firmami projektowymi.....	31
5.3.	Uniwersalny proces realizacji projektu w wielobranżowej firmie projektowej	32
5.4.	Proces główny.....	33
5.5.	Procesy służebne	33
5.6.	Analiza potencjału procesów na implementację rozwiązań opartych na SI	34
5.6.1.	Sposoby wizualizacji macierzy obciążenia zasobów w ujęciu krótkoterminowym..	36
5.6.2.	Główne założenia dotyczące planowania projektów	40
5.6.3.	Zakłócenia dla procesu projektowego	41
5.6.4.	Cykl Williama Edwardsa Deminga.....	42
5.6.5.	Praktyczne procedury planowania i zmian planów obciążenia projektantów.....	44
5.7.	Wpływ zintegrowanych systemów zarządzania.....	44
5.8.	Programy komputerowe wspomagające proces projektowania.....	45
5.9.	Uwagi krytyczne na temat sposobów planowania i zmian planów obciążenia zasobów	46
6.	Problem naukowy do rozwiązania i jego przydatność dla przedsiębiorstwa	49
7.	Badania wraz z planem i metodyką	54
7.1.	Opis badań i realizacji zadań wdrożeniowych.....	54
7.1.1.	Cel badań	56
7.1.2.	Obszar badawczy	56
7.1.3.	Plan badań	57
7.2.	Metodyka badań.....	59
7.2.1.	Charakterystyka badań.....	59
7.2.2.	Próbka badawcza	59
7.2.3.	Narzędzia badawcze	60
7.2.4.	Analiza danych.....	60
8.	Wyniki badań, dyskusja	62
8.1.	Omówienie zawartości rozdziału i metodyki przedstawienia badań	62
8.2.	Etap drugi, badania ankietowe kadry kierowniczej użytkowników systemu Wayman. ..	62
8.2.1.	Opis badań	62
8.2.2.	Cel badań	63

8.2.3.	Metodologia.....	63
8.2.4.	Wyniki badań	64
8.2.5.	Dyskusja	66
8.2.6.	Wnioski	69
8.3.	Badanie zawartości baz danych użytkowników systemu Wayman.....	70
8.3.1.	Opis badań	70
8.3.2.	Cel badań	71
8.3.3.	Metodologia.....	71
8.3.4.	Wyniki badań – wybrane przykłady zdarzeń i ich konsekwencje	74
8.3.5.	Dyskusja	81
8.3.6.	Wnioski	82
8.4.	Analiza dostępnych na rynku rozwiązań SI	82
8.4.1.	Cel badań	82
8.4.2.	Metodologia.....	83
8.4.3.	Wyniki	84
8.4.4.	Dyskusja	89
8.4.5.	Wnioski	91
8.5.	Przygotowanie narzędzi badawczych procesu segmentacji danych	94
8.5.1.	Wprowadzenie kontekstowe	94
8.5.2.	Wymagania funkcjonalne dla narzędzia do ręcznej segmentacji danych.....	100
8.5.3.	Wymaganie niefunkcjonalne dla narzędzia do ręcznej segmentacji danych	104
8.5.4.	Wymagania funkcjonalne dla modułu segmentacji zadań przy użyciu SI	104
8.6.	Faza eksperymentalna I (segmentacja danych)	105
8.6.1.	Wstęp	105
8.6.2.	Metodyka	106
8.6.3.	Wyniki	106
8.6.4.	Dyskusja	109
8.6.5.	Wnioski	110
8.7.	Faza eksperymentalna II (generowanie planów w reakcji na zaburzenia).....	111
8.7.1.	Wstęp	111
8.7.2.	Metodyka opracowania listy atrybutów	112
8.7.3.	Metodyka selekcji źródeł danych.....	114
8.7.4.	Metodyka przygotowania danych wejściowych, reguły modyfikacji planu	116
8.7.5.	Metodyka przygotowania zbiorów danych wejściowych do modeli SI.....	118
8.7.6.	Specyfikacja techniczna formatowania pliku CSV	120
8.7.7.	Wyniki	121

8.7.8.	Dyskusja	127
9.	Efekt naukowy - osiągnięte cele badań w odniesieniu do postawionych hipotez.	131
9.1.	Wprowadzenie	131
9.2.	Realizacja celów badawczych	131
9.3.	Efekt naukowy	132
9.4.	Ograniczenia, założenia i uzasadnienie przyjętych decyzji badawczo-wdrożeniowych .	134
9.4.1.	Problem doboru próby i potencjalna stronniczość ankiety	134
9.4.2.	Podjęcie do definicji celów i hipotez	134
9.4.3.	Ograniczenia II fazy eksperymentalnej	135
9.4.4.	Utylitarny charakter oceny zewnętrznych dostawców SI	135
9.4.5.	Ograniczenia związane z powtarzalnością badań i transparentnością techniczną	136
9.4.6.	Ograniczenia wynikające z aspektów prawnych, etycznych i bezpieczeństwa	136
9.5.	Podsumowanie osiągniętych celów badań	137
10.	Implementacja wyników badań w przedsiębiorstwie.....	138
10.1.	Cel działań wdrożeniowych	138
10.2.	Kontekst organizacyjny	139
10.3.	Przedmiot wdrożenia.....	139
10.3.1.	Moduł ręcznej segmentacji danych	139
10.3.2.	Moduł zapisu danych uczących i walidujących	141
10.3.3.	Moduł gromadzenia i przetwarzania danych historycznych	143
10.3.4.	Moduł integrujący Wayman i OpenAI przy pomocy API	144
10.4.	Proces wdrożenia	148
10.5.	Rezultaty i efekty wdrożenia	149
10.6.	Uwagi dotyczące utrzymania i dalszego rozwoju.....	151
11.	Wnioski.....	153
12.	Spis rysunków	155
13.	Spis tabel	156
14.	Spis literatury	157

1. SPIS SYMBOLI I SKRÓTÓW

Tabela 1: Spis symboli i skrótów

L.P.	Symbol / Skrót	Opis	Jednostka
1	ABS	Ang. American Bureau of Shipping	-
2	API	Ang. Application Programming Interface	-
3	AQUAP	Ang. Allied Quality Assurance Publication	-
4	BIM	Ang. Building Information Modelling	-
5	BS 6079	Brytyjski standard stanowiący zbiór wytycznych i dobrych praktyk w zarządzaniu projektami.	-
6	CAS	Złożone Systemy Adaptacyjne	-
7	CPS	Ang. Cyber Physical Systems	-
8	DNV	Ang. Det Norske Veritas	-
9	DSS	Ang. Decision Support Systems	-
10	Digitalizacja	zmiana dotychczasowego sposobu funkcjonowania czegoś na cyfrowy, czyli stosujący zapis danych w formie sekwencji cyfr, dzięki czemu możliwe jest szybkie i automatyczne odczytywanie i przetwarzanie informacji za pomocą różnych urządzeń i przez różnych użytkowników	-
11	ERP	Ang. Enterprise Resources Planning	-
12	Efektywna ilość roboczogodzin	Nominalna ilość roboczogodzin pomniejszona o straty (zwolnienia lekarski i urlopy)	Roboczo-godziny
13	HCPS	Ang. Human Cyber Physical Systems	-
14	HRAP-4.0	Ang. Human Resources Allocation Problem	-
15	I4.0	Industry 4.0	-
16	Integer	(liczba całkowita) to typ danych w informatyce	
17	ISO	Ang. International Organization for Standardization	-
18	LR	Ang. Lloyd Register	-
19	MILP	Ang. Mixed-Integer Linear Programming	-
20	ML	Ang. Machine Learning	-
21	MySQL	Relacyjny system zarządzania bazą danych	
22	NLP	Ang. Natural Language Processing	-
23	Nominalna ilość roboczogodzin	Ilość dostępnych roboczo-godzin wg wymiaru określonego w kodeksie pracy i umowie o pracę.	Roboczo-godziny
24	OPM	Ang. Organization Project Management	-
25	OpenAI	Nazwa firmy, dokładnie OpenAI Limited Partnership	-
26	PD	Plan Długoterminowy	-
27	PDCA	Ang. Plan Do Control Act	-
28	PK	Plan krótkoterminowy	-
29	PPM	Ang. Project Portfolio Management	-
30	PPS	Ang. Project Portfolio Selection	-
31	SGR	Ang. Stage Gate Review	-
32	SI	Sztuczna inteligencja	-
33	SIWZ	Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia	-
34	SZJ	System Zarządzania Jakością	-
35	Spool	Odcinek prefabrykowany rurociągu	-
36	String	Typ danych w informatyce reprezentujący sekwencję znaków (np. liter, cyfr, symboli, spacji).	-

37	TN	Termin nieprzekraczalny	-
38	USD	Uniwersalny Spis Działań/Dokumentacji	-
39	WBS	Ang. Work Breakdown Structure	
40	WPK	Wewnętrzny Plan Krótkoterminowy	-
41	WSJP	Wielki Słownik Języka Polskiego PAN	-
42	Wayman	Dedykowany dla sektora wielobranżowych, projektowych firm inżynierskich system wspierający zarządzanie przedsiębiorstwem.	-
43	ZSZ	Zintegrowany system zarządzania	-

2. STRESZCZENIE

Dynamiczne zmiany w środowisku wielobranżowych firm inżynierskich, w tym w sektorze projektowania okrętów, infrastruktury i obiektów przemysłowych, zwiększają zapotrzebowanie na efektywne planowanie pracy projektowej i szybkie reakcje na konieczność wprowadzenia zmian do planu w rezultacie zaburzeń. Jest to kluczowe dla efektywności pracy projektowej realizowanej przez inżynierów w wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych. Procesy te, zdominowane dotychczas przez metody manualne, są czasochłonne, podatne na błędy i stanowią znaczne obciążenie dla budżetów projektowych.

Niniejsza praca doktorska koncentruje się na opracowaniu i implementacji narzędzi wspierających zarządzanie zasobami, wykorzystujących sztuczną inteligencję (SI), w celu zwiększenia efektywności, precyzji i elastyczności zarządzania w projektach wielobranżowych. Głównymi celami pracy są:

- opracowanie nowych funkcjonalności systemu ERP Wayman wspierających automatyzację zarządzania zasobami ludzkimi z wykorzystaniem algorytmów SI.
- ocena efektywności narzędzi cyfrowych w porównaniu z metodami manualnymi w zakresie planowania i alokacji zasobów w inżynierskich firmach projektowych.
- weryfikacja wpływu wprowadzonych rozwiązań na efektywność operacyjną firm projektowych oraz ich rentowność.
- implementacja opracowanego rozwiązania w środowisku produkcyjnym klientów systemu Wayman ERP służącego do wsparcia procesów zachodzących w wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych, jak i finalnie analiza wpływu na rzeczywiste procesy zarządzania zasobami.

Powyżej wskazane cele zostały osiągnięte, przy uwzględnieniu występujących ograniczeń. W ramach prac wdrożeniowych wytworzono i zaimplementowano w systemie Wayman planowane funkcje SI. Wdrożono je także w firmach projektowych używających tego systemu. Badania przeprowadzone na grupie użytkowników systemu pozwoliły na zebranie danych i na ich podstawie wnioskowanie odnośnie wpływu wprowadzonych rozwiązań na efektywność operacyjną jak i porównania efektywności narzędzi cyfrowych i metod manualnych planowania i zmian planów w firmach inżynierskich.

W badaniach realizowanych w toku pracy doktorskiej wykorzystano:

- Dane z 20 baz systemu Wayman ERP oraz wyniki ankiet przeprowadzonych wśród 1283 menedżerów projektowych reprezentujących różne sektory inżynierii.

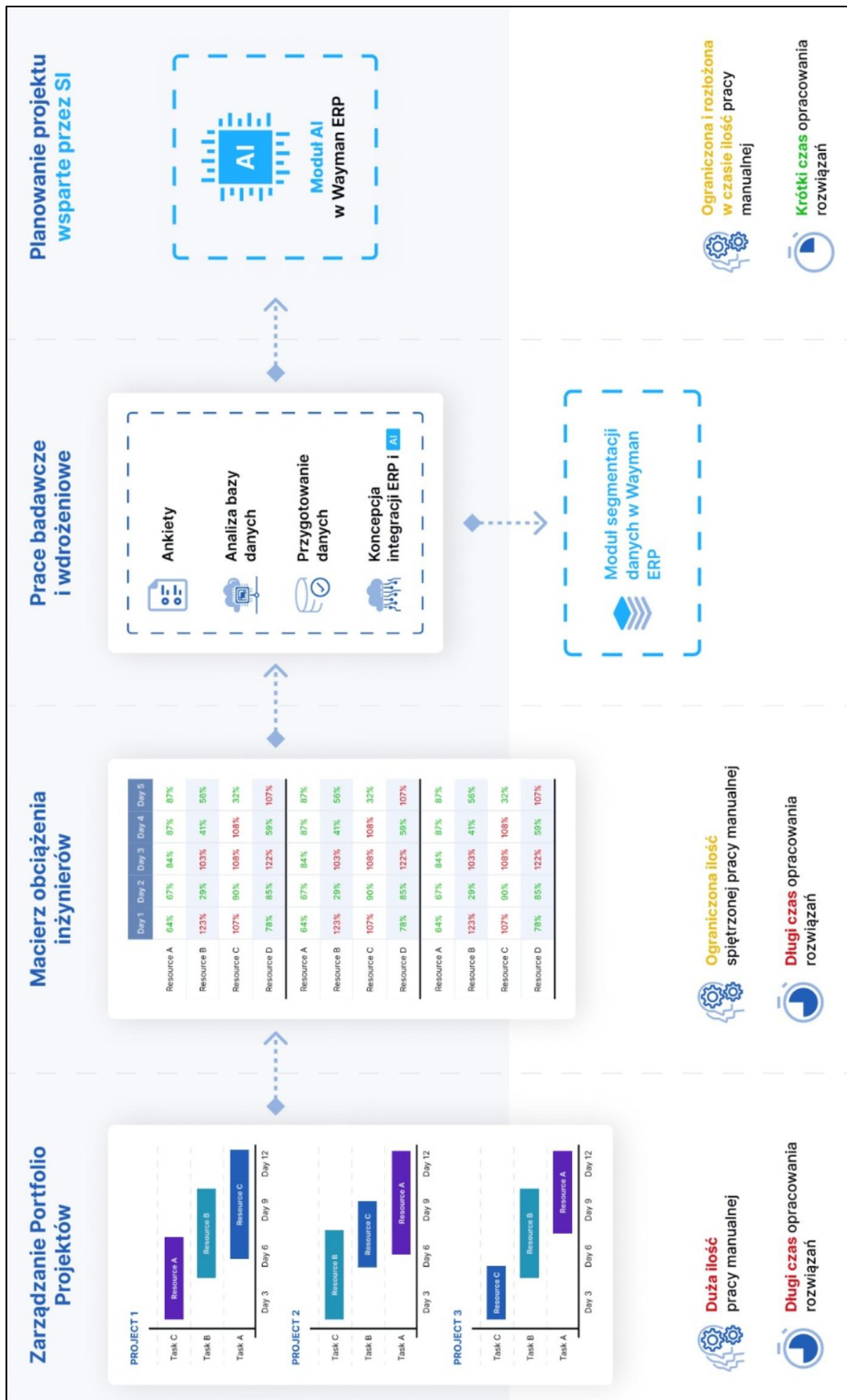
- Opracowane funkcjonalności służące do segmentacji danych przez użytkowników poprzez przypisywanie ręcznie utworzonych zadań projektowych do elementów Uniwersalnego Spisu Działań/Dokumentacji (USD).
- Natywne narzędzie pozwalające na integrację i przekazywanie przy pomocy API danych do narzędzi SI udostępnianych przez zewnętrznego dostawcę. Dane te zostały przetestowane w środowisku deweloperskim firmy Wayman z udziałem przedstawicieli wielobranżowych, inżynierskich firm projektowych.

Po weryfikacji skuteczności i stabilności opracowane rozwiązanie zostało zaimplementowane bezpośrednio w systemie Wayman ERP, a następnie wdrożone w rzeczywistym środowisku biznesowym klientów końcowych. Wdrożenie obejmowało integrację nowych funkcjonalności z istniejącymi systemami ERP klientów, szkolenie użytkowników w zakresie korzystania z narzędzi opartych na SI, monitorowanie efektywności rozwiązania w praktyce i iteracyjne udoskonalenia na podstawie uzyskanych danych.

Przeprowadzone badania wykazały, że narzędzia SI pozwalają na skrócenie czasu potrzebnego na reakcję na zaburzenia o około 30%. Wdrożone rozwiązania przyczyniły się do poprawy precyzji planowania i zmniejszenia opóźnień wynikających z konieczności manualnego przygotowania modyfikacji planu realizacji prac projektowych. Klienci końcowi zgłosili wysoką satysfakcję z wprowadzonych narzędzi, wskazując na ich intuicyjność oraz praktyczność w codziennym użytkowaniu. Implementacja rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji w systemie Wayman ERP znacząco poprawiła efektywność procesów planowania prac projektowych i wykonywania zmian planów w reakcji na zaburzenia w inżynierskich firmach projektowych. Digitalizacja tych procesów umożliwia lepsze wykorzystanie zasobów, redukcję kosztów operacyjnych oraz wzrost konkurencyjności na dynamicznie zmieniającym się rynku inżynierskim. Element wdrożeniowy pracy doktorskiej pozwolił na praktyczne zastosowanie opracowanego systemu w realnych warunkach biznesowych, co stanowi znaczący wkład w rozwój technologii wspierających proces projektowania w inżynierii.

Słowa kluczowe:

planowanie inżynierskich prac projektowych, projektowanie statków, projektowanie przemysłowe, inżynieria mechaniczna, efektywność projektowania, wielobranżowe firmy inżynierskie, sztuczna inteligencja, digitalizacja, ERP, efektywność operacyjna, wdrożenie



Rysunek 1: Abstrakt graficzny pracy:

3. WSTĘP (GENEZA I MOTYWACJA)

Temat pracy doktorskiej „*Digitalizacja wybranych procesów w wielobranżowej firmie projektowej z uwzględnieniem SI dla poszczególnych procesów*” wskazuje, że jest to opracowanie z pogranicza dyscyplin. Dyscypliną wiodącą w niniejszym opracowaniu jest inżynieria mechaniczna, co wynika zarówno z koncentracji badań i wdrożenia na elementach procesu projektowania w wielobranżowej firmie projektowej oraz z przyjętej definicji słowa digitalizacja i jej praktycznego zastosowania.

Zgodnie z Wielkim Słownikiem Języka Polskiego PAN (słownik elektroniczny www.wsjp.pl) digitalizacja przedsiębiorstwa to „*zmiana dotychczasowego sposobu funkcjonowania czegoś na cyfrowy, czyli stosujący zapis danych w formie sekwencji cyfr, dzięki czemu możliwe jest szybkie i automatyczne odczytywanie i przetwarzanie informacji za pomocą różnych urządzeń i przez różnych użytkowników*”. Podchodząc praktycznie do tak rozumianego zagadnienia digitalizacji procesów w wielobranżowej firmie projektowej można odnaleźć na zasadzie analogii podobieństwo do procesu tworzenia bliźniaka cyfrowego (ang. Digital Twin).

W istotnym artykule B. Schleich i in. [1] wskazano na liczne zyski wynikające ze wykonywania bliźniaka cyfrowego, warto podkreślić, że obecnie świadomość tych zysków jest powszechna w środowisku inżynierskim. Jednym z istotnych benefitów tam podkreślonych jest „efektywne przewidywanie skutków rozwoju produktu i procesu, a także decyzji operacyjnych i serwisowych na zachowanie produktu bez konieczności wykonywania kosztownych i czasochłonnych fizycznych makiet”[1].

Efektywność procesu projektowania realizowanego przez inżynierów w wielobranżowych firmach projektowych, w tym redukcja jego kosztów i skrócenie czasu poświęcanego na reakcję na zaburzenia, które są integralną częścią iteracyjnego procesu projektowania i wynikają ze zmian, błędów, spiętrzeń obciążenia i innych nieprzewidywalnych zdarzeń, jest celem digitalizacji przedstawionej w niniejszym opracowaniu. Digitalizacja ukierunkowana na doskonalenie efektywności procesu projektowania w wielobranżowych firmach projektowych, analogicznie jak w przypadku tworzenia bliźniaka cyfrowego projektowanego obiektu przez inżynierów, koncentruje się na skutecznym użyciu i metodologii stosowania dostępnych rozwiązań, szczególnie rozwiązań z obszaru SI.

Dogłębna znajomość procesu projektowania i zagadnień z zakresu inżynierii mechanicznej, stanowiącej wspólny mianownik dla wielobranżowych inżynierskich firm projektowych, jest niezbędna do wypracowania metodologii użycia narzędzi SI i oceny ich skuteczności na etapie wdrożeniowym. To sprawia, że inżynieria mechaniczna jest wiodącą dyscypliną naukową, będącą punktem wyjścia do prac programistycznych i działań z obszaru nauk o zarządzaniu.

Zarówno w świecie nauki jak i w przemyśle spotykana jest dyskusja jak poprawnie używać słów cyfryzacja i digitalizacja, analogiczne rozważania można prowadzić w kontekście aktywności naukowych oraz wdrożeniowych będących przedmiotem niniejszego opracowania. Zarówno Słownik Języka Polskiego PWN jak i Wielki Słownik Języka Polskiego PAN wskazują, że oba wyrazy są synonimami. Wielki Słownik Języka Polskiego PAN podaje przytoczoną powyżej precyzyjną definicję digitalizacji przedsiębiorstwa wskazując, że cyfryzacja pozostaje w relacji znaczeniowej z digitalizacją. Dlatego też digitalizację przyjęto ostatecznie, jako wyraz obejmujący działania wdrożeniowe podejmowane pośrednio przez producenta oprogramowania w wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych.

W literaturze naukowej efektywność inżynierskich zespołów projektowych jest rozpatrywana w kategoriach dwóch odrębnych aspektów [2]:

- wydajności zespołu w obszarze realizacji zadań projektowych, czyli tego jak dobrze zespół wielobranżowy spełnia lub nawet przewyższa oczekiwania dotyczące pracy projektowej [3],
- żywotności zespołu, czyli potencjału zespołu do utrzymania swoich członków i skutecznego funkcjonowania w czasie [4].

W niniejszej pracy skoncentrowano się na pierwszym aspekcie efektywności zespołów inżynierskich, powiązany z realizacją prac w kontekście głównych wierzchołków równowagi projektu inżynierskiego, czyli czasu, zasobów, jakości, zakresu pracy i budżetu finansowego.

Dążenie do poprawy efektywności, mającej bezpośredni wpływ na rentowność (wynik finansowy) [5] jest w wielobranżowych firmach projektowych procesem ciągłym i stanowi jedno z istotnych zadań osób odpowiedzialnych za proces projektowania [6]. Bardzo szybki rozwój technologii informatycznych spowodował przyspieszenie wdrażania ukierunkowanych na wzrost efektywności procesów digitalizacji [7] w sektorze budownictwa okrętowego [8] oraz w innych sektorach przemysłu, w których inżynieria mechaniczna odgrywa kluczową rolę.

Skuteczne dążenie do poprawy efektywności jest także ważnym elementem budowania przewagi konkurencyjnej [9] firm projektowych, w rzeczywistości inżynierowie muszą mierzyć się z globalną konkurencją, często funkcjonującą w innym otoczeniu ekonomicznym, formalno-prawnym i kulturowym. Efektywność może być jednym z głównych czynników przesądzających o tym, że konkurowanie będzie możliwe pomimo powszechnego stosowania narzędzi wspierających projektowanie. Branża ewoluuje, choć poziom digitalizacji wielobranżowych firm projektowych jest nadal niski w porównaniu do firm z innych sektorów przemysłu [10].

Gwałtowne zmiany w świecie wywołane upowszechnieniem narzędzi opartych na sztucznej inteligencji spowodowały, że digitalizacja uwzględniająca stosowanie SI [11] stała się tematem budzącym zainteresowanie zarówno przedstawicieli przemysłu jak i środowiska naukowego, Zainteresowanie świata nauki stopniowo zmniejsza wyraźną lukę badawczą w obszarze praktycznego stosowania narzędzi sztucznej inteligencji w procesach projektowania.

Obszar zainteresowania tego opracowania naukowego także stanowi krok w kierunku lepszego poznania i poprawy przebiegu realizacji prac projektowych. Podstawowym procesem realizowanym w wielobranżowych projektowych firmach inżynierskich jest proces równoległej realizacji wielu projektów, pierwotną inspiracją w do podjęcia rozważań nad tematyką pracy doktorskiej był artykuł Larsa Kristiana Hansena i Pera Svejvika, „Seven Decades of Project Portfolio Management Research (1950–2019) and Perspectives for the Future” [12] w którym w bardzo szeroki sposób omówiono zagadnienia związane z tematem zarządzania portfelem projektów. Literatura przedmiotu jest coraz bogatsza. W latach 2015 – 2020 ilość publikacji dotyczących portfela projektów wynosiła ponad 1000, w 2021 sięgnęła blisko 3000 publikacji.

Kolejnym powodem do podjęcia badań była świadomość wyzwania jakie stoi przed osobami zarządzającymi [13] wielobranżowymi firmami projektowymi, które w erze transformacji cyfrowej przygotowują się na nieuchronną digitalizację swoich przedsiębiorstw i mając świadomość ograniczonych zasobów dostępnych w firmie i przeznaczonych na innowacje, muszą odpowiedzieć na pytanie, które z procesów związanych z projektowaniem niosą największy potencjał na wzrost efektywności, a pośrednio także rentowności, poprzez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań opartych na SI [14].

Odpowiedź na postawione powyżej pytanie wymaga przeprowadzenia szeroko zakrojonych badań i w przypadku wykrycia procesów o wysokim potencjale, przystąpienia do wytworzenia narzędzi w istotny sposób zwiększających efektywność funkcjonowania inżynierskich, wielobranżowych firm projektowych. Uzyskane wyniki pozwalają na pogłębione zrozumienie problematyki zagadnienia i rozbudowanie systemu o nowe moduły oraz funkcjonalności, które mogą zostać zdefiniowane i zaimplementowane w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych.

Udoskonalenie systemu Wayman i zwiększenie konkurencyjności firmy Wayman poprzez poszerzenie oferty o nowe, oparte na SI moduły ,stanowi motywację do realizacji prac wdrożeniowych w firmie Wayman Sp. z o.o. Wynikiem aktualizacji oprogramowania jest nowe, nieistniejące wcześniej narzędzie poprawiające efektywność procesu projektowania, oraz pośrednio zmniejszające ryzyko realizacji prac projektowych, poprawę jakości oraz zwiększenie ilości czasu poświęcanego przez

inżynierów na projektowanie, przy jednoczesnym ograniczeniu przestoju i czasu poświęcanego na planowanie pracy projektowej.

Autor rozprawy przez dwadzieścia lat pracy zawodowej zajmował stanowiska kierownicze w wielobranżowych, okrętowych firmach projektowych oraz w firmach inżynierskich z innych sektorów przemysłu jak energetyka, farmaceutyka, przemysł maszynowy. Dążenie do stałego wzrostu efektywności i zaangażowanie w pracę firm projektowych inżynierów mechaników [15] stanowi wspólny mianownik dla wszystkich sektorów inżynierii. Istnieją istotne dla realizacji projektów technologicznych podobieństwa. Rozwiązania implementowane w sektorze okrętowym, po pewnej modyfikacji mogą być bezpośrednio stosowane w innych sektorach. Przykładowo, według sprawdzonych praktyk, implementację zawsze należy rozpoczynać od działów mechanicznych, funkcjonujących na podobnych zasadach w każdej z firm projektowych.

Powyższe fakty, jak i zainteresowanie autora digitalizacją doprowadziło do powstania firmy Wayman Sp. z o.o. zajmującej się rozwojem dedykowanego dla wielobranżowych, inżynierskich firm projektowych systemu wspierającego funkcjonowanie przedsiębiorstwa, w szczególności w zakresie wsparcia realizacji procesu głównego, czyli procesu projektowania. Wyniki realizowanych w toku doktoratu prac badawczych pozwoliły na zwiększenie efektywności działań użytkowników systemu i poprawę rynkowej pozycji dostawcy systemu, firmy Wayman.

Wprowadzone do oprogramowania nowe moduły poprawiają efektywność działania środowiska poprzez skrócenie czasu opracowania danych wejściowych [16], niezbędnych do podjęcia decyzji przez osoby odpowiedzialne za realizację procesu projektowania, przy jednoczesnym zwiększeniu ilości i jakości tych danych. Jest to istotne usprawnienie z punktu widzenia praktyki. Wnioski z badań stanowią znaczący wkład do istniejącej wiedzy. Luka badawcza w momencie rozpoczęcia badań, była szczególnie mocno widoczna w sektorze przemysłu okrętowego.

Udział firm projektowych pracujących w Polsce na rzecz sektora gospodarki morskiej jest znaczący. Jednocześnie specyfiką sektora projektowego są krótkie serie budowanych na podstawie wytworzonej dokumentacji statków i duża ilość zmian oraz zaburzeń. Większość projektów dotyczy obiektów prototypowych, obarczonych dużym ryzykiem i niosących z sobą liczne niewiadome. Opracowane w ramach prac wdrożeniowych rozwiązanie w nowy, bardziej efektywny i nieznanym dotychczas sposób, adresuje powszechne w wielobranżowych firmach inżynierskich problemy, w szczególności niemożliwe do przewidzenia zaburzenia.

Nowatorskie zastosowanie powszechnie dostępnych narzędzi wykorzystujących algorytmy sztucznej inteligencji, w których proces uczenia i walidacji jest realizowany poprzez wykonywanie i dokumentowanie zwykłych codziennych czynności w firmie, bez konieczności budowy i utrzymywania

zaawansowanych modeli SI przez wielobranżowe, inżynierskie firmy projektowe sprawiło, że oprogramowanie Wayman zyskało nową funkcjonalność [17].

Spółeczność około 5000 użytkowników systemu Wayman w Polsce pozwala na łatwe zastosowanie i testowanie prototypowych modułów wytworzonych w ramach prac wdrożeniowych w wiodących polskich firmach projektowych. Zaangażowanie użytkowników systemu w prowadzone badania zwiększa szansę, że wytworzone moduły będą konsekwentnie używane w celu podniesienia efektywności realizacji procesu projektowania.

Praca opisująca powstawanie wyżej nakreślonych zmian została podzielona na logiczne etapy, które umożliwiają kompleksowe zrozumienie zarówno teoretycznego, jak i praktycznego aspektu badanego zagadnienia. W pierwszej części rozprawy dokonano analizy kluczowej literatury, uwzględniając najważniejsze publikacje naukowe w omawianym obszarze, co pozwoliło na podsumowanie aktualnego stanu wiedzy, identyfikację luk badawczych oraz wskazanie nowych możliwości.

Na tej podstawie zdefiniowano problem naukowy oraz hipotezę badawczą, uwzględniając ich przydatność w kontekście potrzeb przedsiębiorstwa. Kolejne części pracy obejmują szczegółowy opis planu i metodyki badań, prezentację uzyskanych wyników oraz ich interpretację w formie dyskusji. Wyniki te zostały następnie zaimplementowane w środowisku biznesowym, co pozwoliło na ocenę ich praktycznego znaczenia.

Kolejnym krokiem było tworzenie rozwiązań prototypowych i ich testowanie w iteracyjnym procesie, by po zakończonym sukcesem procesie walidacji i po wprowadzeniu zmian implementować finalne rozwiązania do systemu Wayman. Ustalenia w trakcie każdego etapu, wskazują na potencjalne kierunki dalszych badań.

4. ANALIZA LITERATURY

Analiza literatury naukowej to kluczowy etap badań, który umożliwia zdobycie wiedzy na temat istniejących teorii i wyników związanych z danym przedmiotem [18]. Analiza literatury powinna pozwolić na uniknięcie powtórzenia badań, zrozumienie obecnego stanu wiedzy oraz znalezienie luki w wiedzy dotyczących użycia SI w celu automatyzacji procesów projektowania realizowanych w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych. W dobie coraz powszechniejszego stosowania SI w różnych sektorach inżynierii [19] interesującym zagadnieniem było użycie innowacyjnych technologii w celu zaspokojenia potrzeb użytkowników systemu Wayman.

Celem analizy literatury naukowej było zbadanie obecnego stanu wiedzy na temat zastosowań SI w celu automatyzacji procesów zachodzących w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych.

Brak powszechnie stosowanych na rynku rozwiązań konkurencyjnych dedykowanych dla sektora projektowo inżynierskiego wskazywał na to, że potencjalnie może występować luka w badaniach tej tematyki, którą w toku realizacji doktoratu wdrożeniowego można będzie wypełnić badaniami realizowanymi zgodnie ze sprecyzowanymi potrzebami użytkowników końcowych i przy zapewnieniu wdrożenia w firmie Wayman rozwiązań opartych na wynikach przeprowadzonych badań.

Typowa dla sektora okrętowego wielobranżowość wynika z tego, że statek, jako obiekt autonomiczny posiada własne źródła zasilania, dzięki wyporności konstrukcji utrzymuje się na wodzie, posiada liczne urządzenia, systemy ogólnokrętowe, instalacje elektryczne, radiowe, automatyczne, elektroniczne oraz systemy niezbędne do zapewnienia właściwych warunków bytowania na statku. W związku z bardzo niszowym charakterem sektora projektowo inżynierskiego [20] w analizowanych bazach danych publikacji naukowych nie znaleziono znaczącej ilości artykułów dotyczących badań dotyczących bezpośrednio procesów [20] zachodzących w wielobranżowych okrętowych projektowych firmach inżynierskich [21].

Podstawowym procesem zachodzącym w projektowych firmach inżynierskich jest proces planowania i zmian planów portfela projektów [22], który wybrano jako temat analizy literatury naukowej ze szczególnym uwzględnieniem podprocesu planowania i reagowania na zaburzenia i zmiany planu obciążenia zasobów ludzkich [23]. Dzięki udostępnieniu bazy danych użytkowników systemu Wayman pozyskano dostęp do danych identyfikujących projektantów i managerów oraz dających możliwość analizy baz danych użytkowników.

W toku przeprowadzonych badań ankietowych potwierdzono, że obszar racjonalnego planowania zasobów, delegowania zadań i wykonania zmian planu na skutek zaburzeń w procesie planowania projektowania, często nazywany błędnie przez managerów firm inżynierskich „procesem optymalizacji zasobów”, w rzeczywistości jest najbardziej interesującym obszarem gdzie zdaniem ankietowanych kryje się potencjał do usprawnień [24]. Powyższe obserwacje były zgodne z konkluzjami wynikającymi z badania zawartości baz danych udostępnionych przez firmę Wayman. Dlatego też analiza literatury naukowej realizowana była w celu zbadania stanu wiedzy na temat planowania prac projektowych wynikających z realizacji znajdujących się w całym portfelu projektów zadań i możliwości automatyzacji podprocesu planowania, delegowania zadań i zmian planów obciążenia projektantów.

Wspomniani już L. K. Hansen and P. Svevig [12]. poruszają zagadnienie związane z tematem portfela projektów [25], który jest obecny na liście tematów badawczych od co najmniej siedemdziesięciu lat, a ilość publikacji na ten temat nadal wzrasta. Jednym z głównych wyzwań w badaniu tego tematu jest jego złożoność, wynikająca z rozproszenia w wielu dziedzinach nauki i długiego okresu czasowego, w którym prowadzono badania. Zapoznanie się z przeprowadzonym przez

autorów narracyjnym przeglądem literatury pozwoliło lepiej zrozumieć skąd się wywodzi i dokąd zmierza działalność badawcza w tym obszarze.

Artykuł odwołuje się do początków tego zagadnienia i opisuje jego rozwój w formie autorskiego modelu warstwowego. Poprzez ocenę przeszłych zdarzeń i prognozowanie przyszłości, autorzy wskazują kierunki rozwoju na następne dziesięciolecia, co jest szczególnie interesujące w kontekście wyznaczonego celu przeglądu literatury. W toku dalszych kroków związanych z analizą literatury nawiązano kontakt z autorami analizowanej publikacji w celu pogłębienia wiedzy i odbycia konsultacji.

Jednym z interesujących nurtów w literaturze była tematyka selekcji i optymalizacji portfela projektów [26] wywodząca się od pytania „jak wybrać odpowiednie projekty”. Doprowadziło ono do powstania licznych badań i rozwiązań możliwych do uprządkowania w siedmiu głównych grupach

- technik: metody interaktywne [27],
- punktacja [28],
- optymalizacja portfela [29],
- analiza decyzyjna [30],
- programowanie matematyczne [31],
- modele ekonomiczne,
- systemy wspomagania decyzji (DSS) / sztuczna inteligencja (SI) [32].

Z publikacji dotyczących tematu wynika, że oparte na matematyce modele selekcji portfela, mimo ich zaawansowania cechują się niską użytecznością, a ich złożoność często wymaga wsparcia eksperta, aby mogły być używane przez menedżerów w rzeczywistych warunkach [33]. W związku z tym naukowcy coraz bardziej starają się uwzględnić większą ilość zmiennych zaczynając teoretyzować na temat tego, jak różne rodzaje modeli selekcji pasują do różnych kontekstów. Mnogość podejść wskazuje na istnienie potencjalnej luki badawczej w obszarze wyboru rozwiązania dla sektora wielobranżowych inżynierskich firm projektowych. Wysoki stopień skomplikowania, złożoność i wymagające eksperckich kompetencji procesy uczenia i walidacji mogą nie sprawdzić się w praktyce, a lepszym rozwiązaniem mogą być prostsze narzędzia, co stanowi ważną wskazówkę co do wymaganej prostoty nowych modułów.

Nurt literatury związany z rozpatrywaniem portfela projektów, rozumianych jako zbiór projektów realizowanych jednocześnie w firmie projektowej, nie tylko jako jednoznacznie określonego momentu w czasie, ale jako zbioru trwających sekwencyjnych procesów, w których powinna być stosowana szeroka kombinacja technik, doprowadził do wypracowaniu modelu SGR, stage-gate-review

(etapowo-bramkowy), który wynika ze wspomnianego wcześniej podejścia i jest powszechnie stosowany w firmach projektowo inżynierskich [34].

Modele stage-gate sugerują serię etapów, w których zespoły projektowe dostarczają wymagane informacje, a następnie dokonywane są decyzje na bramkach. Te podejście idealnie wpisuje się w podzielone na fazy projektowania procesy realizacji dużych, wielobranżowych projektów inżynierskich [35]. Przy każdej bramce organizacja ocenia i decyduje, czy projekt powinien być kontynuowany. Podstawowe idee modeli stage-gate pozostały niezmienione od lat, ale skupienie badaczy przesunięto na dostosowalność tych modeli, ich skalowalność oraz ich wsparcie dla praktyk zwinnych, czyli iteracyjnych i inkrementalnych metod realizacji przedsięwzięć kładących nacisk na elastyczność, adaptacyjność oraz ciągle dostosowywanie do zmieniających się warunków i wymagań interesariuszy.

Z analizy literatury wynika także, że rozwiązania oparte na najlepszych praktykach są przyjmowane obecnie sceptycznie [36]. Krytyczne podejście do ich uniwersalności stwarza możliwości badawcze dotyczące rozwiązań bardziej zorientowanych na organizacyjne zarządzanie projektami (OPM), które z kolei pozwala na wypracowanie rozwiązań dedykowanych dla wielobranżowych inżynierskich firm projektowych takich jak na przykład rozkłady historyczne pracochłonności realizowanych zadań lub zastosowania rozwiązań opartych na SI.

Kolejnym wnioskiem z analizy literatury naukowej jest obserwacja, że od około 2000 roku rozpoczął rozwijać się nurt literatury zorientowany na strategię, a naukowcy zaczęli analizować wyniki procesowania portfela projektów (PPM) w kontekście jego wpływu strategicznego [37]. Wcześniejsze badania koncentrowały się na efektywności PPM jako głównym celu, na przykład poprzez redukcję problemów związanych z projektami i poprawę wyników projektów.

Aktualnie teoretycy zwracają uwagę na potrzebę poszerzenia tego rozumienia, wprowadzając nowe pojęcie efektywności. Pojęcie to zawiera klasyczny operacyjny atrybut PPM (czyli efektywność), ale również szerszą zdolność PPM do dostosowywania się i realizacji celów strategicznych oraz uzyskiwania oczekiwanej wartości [38]. Bardziej ogólne koncepcje wartości strategicznej, która obejmuje kwestie ekologiczne, społeczne, zdrowotne i bezpieczeństwo, wpływ na społeczeństwo, rozwijanie umiejętności i wiedzy.

Wartość biznesową w dłuższej perspektywie czasowej trudno odnieść bezpośrednio do problematyki procesów zarządzania wielobranżową firmą projektową, której działania są bardziej ukierunkowane na efektywność i zasadność ekonomiczną osiąganą w ramach realizacji projektów w określonych ramach przepisów, standardów i procedur [39], [40]. Zarządzanie tworzeniem wartości w portfelach wydaje się być obiecującym obszarem badań nad PPM, jednak z uwagi na to, że pojęcie

wartości i sukcesu PPM stopniowo zmieniało się, skupiając się bardziej na wartości niż na projekcie i produkcie nie są to badania, które pozostają w linii z celem analizy.

Trend zainteresowania innowacjami skłonił badaczy PPM do skupienia się na zdolności organizacji do adaptacji jako sposobu radzenia sobie z nieprzewidywalnym i szybkim zmianami, a to jest już całkowicie zbieżne z procesami zachodzącymi w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych. Opracowania zaczęły podejmować temat tego, jak rozwijać zdolność do adaptacji, gotowość na przyszłość oraz elastyczność. Zaproponowano różne teorie, na przykład teorię o zdolnościach dynamicznych oraz złożone systemy adaptacyjne (CAS) [41]. Ponadto, opisuje się tematy elastyczności wywodzące się z badań nad rozwojem oprogramowania, czyli z firm zatrudniających programistów, które zostały rozpowszechnione w innych branżach.

W miarę konkretyzowania teorii dotyczących poprawy adaptacyjności i elastyczności naukowcy snują rozważania na temat tego, jak zintegrować i zrównoważyć tę adaptacyjność w zgodzie z istniejącymi strukturami i wymaganiami organizacyjnymi. Mimo starannie przeprowadzonych studiów literatury obejmujących dostępne bazy renomowanych wydawców nie znaleziono dużej ilości artykułów odnoszących się do praktycznych implementacji wniosków i rozwiązań w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych. Jest to obszar, który dopiero będzie zbadany.

Na tym polu wyróżniają się X. A. Flechas Chaparro i in. [42], ich praca traktuje o tym, w jaki sposób metody selekcji projektów ewoluowały. W artykule przedstawiona została wszechstronna charakterystyka tych metod i zidentyfikowano również cztery kluczowe aspekty zarządzania portfelami projektów innowacyjnych: dynamika [43], zarządzanie wzajemnymi zależnościami [44], traktowanie niepewności [45] i wymagane dane wejściowe.

Autorzy wskazali także, że poza rozważaniami teoretycznymi na dużym poziomie ogólności, konieczne jest przeprowadzenie dalszych badań i testów w różnych branżach. Nie poznano dotychczas odpowiedzi na pytanie, czy metody związane z innowacjami zapewniają wyższą wydajność. Lepszy wynik finansowy, większą rentowność. Według nich w przyszłości w ramach prowadzonych badań naukowych będzie można eksplorować empirycznie, które kombinacje metod są bardziej zalecane, biorąc pod uwagę różne ustawienia branżowe i inne cechy.

Widoczna luka badawcza zaczyna uwidaczniać się w momencie, gdy w obszarze zainteresowania pojawiają się koncepcje implementacji rozwiązań w konkretnych obszarach i branżach [42]. Takie spostrzeżenia i konkluzje w znaczący sposób potwierdzają zasadność prowadzonych badań i wskazują na luki w wiedzy w obszarze dotyczącym badań efektywności stosowania opracowanych metod między innymi w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych.

Interesującym i bliskim realiom wielobranżowych firm inżynierskich okazał się artykuł Hollistera i Watkinsa [46] opublikowany w *Harvard Business Review*. Omówiono tam możliwość zwalczania nadmiaru inicjatyw i skoncentrowania zasobów organizacyjnych na strategicznie istotnych projektach. Pierwszą konkluzją artykułu jest wniosek, że walka z nadmiarem inicjatyw wymaga woli i dyscypliny w podejmowaniu i egzekwowaniu trudnych wyborów. Wskazano na rekomendowane kroki działania przeciwdziałające tej komplikacji, są to:

- określenie rzeczywistej liczby obecnych inicjatyw w całej firmie, aby zweryfikować, czy organizacja cierpi z powodu nadmiaru projektów,
- ocena wszystkich obecnie realizowanych inicjatyw, ze wskazaniem potrzeby biznesowej, wymaganego budżetu, alokacji zasobów ludzkich i wpływu na biznes, co pozwoli kierownictwu wyższego szczebla wspólnie ustalić priorytety w sposób zintegrowany.

Autorzy proponują, żeby dyskusja była prowadzona przez zespół najwyższego kierownictwa i została ugruntowana w szczerych opiniach z niższego szczebla, aby zapewnić odpowiednie zmniejszenie liczby inicjatyw. Wprowadzenie „klauzuli zachodzącego słońca” dla każdej inicjatywy, określającej datę zakończenia finansowania i alokacji zasobów ludzkich, w taki sposób aby projekty nie pochłaniały zasobów dłużej niż jest to potrzebne, chyba że wywierają znaczący i pozytywny wpływ na biznes.

Konkludują, że najlepszym sposobem uniknięcia nadmiaru inicjatyw jest powstrzymanie wystąpienie nadmiaru inicjatyw w pierwszej kolejności. Oznacza to wprowadzenie rygorystycznych przeglądów, które narzucają dyscyplinę w kwestii tego, kiedy i jak organizacja wprowadza nowe projekty, oraz baczne obserwowanie, czy i ile czasu pochłaniają, i na czyją korzyść. Dla firm, które już doświadczają nadmiaru inicjatyw, skupienie się na korzyściach wynikających z ich ograniczenia może ułatwić dalsze działania. Nadmiar inicjatyw, rozumiany jako nadmiar projektów zewnętrznych i wewnętrznych to stały i integralny element rzeczywistości wielobranżowych firm projektowych [46].

Przechodząc do analizy praktycznych rozwiązań związanych z podprocesem planowania zasobów oraz modyfikacji planu obciążenia zasobów inicjowanych zmianami w procesie projektowania dokonano też analizy literatury w zakresie związanym z tą tematyką. H. Grillo, w swoim artykule [47] porusza temat wyzwań, przed jakimi stoją firmy w związku z tzw. czwartą rewolucją przemysłową, czyli *Industry 4.0*. Artykuł przedstawia przeprowadzone badania i zawiera opis nowego modelu HRAP-4.0.

Nowe cechy modelu zostały przetłumaczone na dodatkowe elementy strategii optymalizacji oraz ograniczeń przy użyciu modeli MILP (*Mixed-Integer Linear Programming*). Artykuł podkreśla nowe modele matematycznego programowania, które uwzględniają wymagania wynikające z czynników *I4.0*

w sposób modularny i możliwy do wielokrotnego wykorzystania, jednocześnie aktualizując istniejące modele HRAP.

Zaproponowano koncepcje budowania modeli HRAP-4.0, wykorzystując istniejące oraz nowe elementy. Dla osób zainteresowanych badaniem efektywności zautomatyzowanych procesów w konkretnych sektorach artykuł dostarcza również ogólnych wskazówek w kontekście ich praktycznej implementacji. Koncentruje się on na systemach produkcyjnych określając, że HRAP-4.0 może być postrzegany jako nowe narzędzie do przydzielania zadań pracownikom w nowoczesnych systemach produkcyjnych. Rozwój tego systemu opiera się na uwzględnieniu czynnika ludzkiego jako części projektowania CPS (Cyber-Physical systems) w I4.0, zwanych także HCPS (Human-CPS).

Badania związane z implementacją tej metodologii w wielobranżowych firmach projektowych nie zostały nigdy przeprowadzone. Finalna konkluzja autorów także wskazuje, że dalsze badania powinny zweryfikować, które metody rozwiązania są bardziej odpowiednie w konkretnych przypadkach implementacji HRAP-4.0 [47]. Ostatecznym celem jest w pełni zastosować HRAP-4.0 w praktyce.

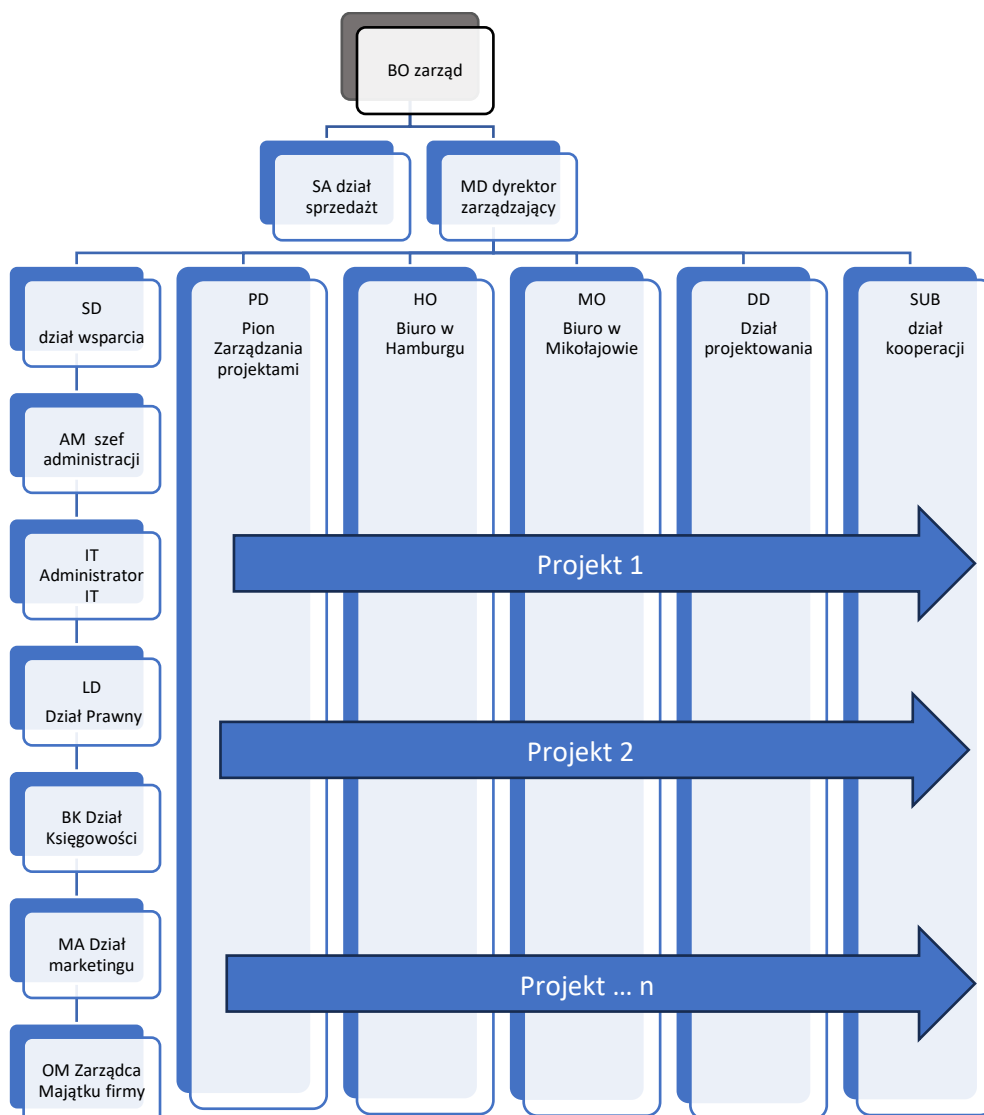
Podsumowanie zawiera sugestię, że dalsze prace powinny uwzględnić niestabilność i zmienność danych ludzkich w związku z różnymi działaniami, postawami, cechami i umiejętnościami, co wymaga zastosowania między innymi technologii SI w procesie modelowania CPS. Powyższe stwierdzenia są zgodne z założeniami niniejszej pracy i potwierdzają istnienie luki badawczej. Wskazują też na zasadność prowadzenia badań skoncentrowanych na sektorze wielobranżowych firm inżynierskich.

W toku analizy literatury naukowej wykazano, że prowadzone są badania na ogólnym poziomie teoretycznym, dotyczące zarówno zarządzania portfelem projektów jak i gotowości organizacji na zmianę. Opracowywane są i stale doskonalone rozwiązania pozwalające na wdrożenie rozwiązań informatycznych i zautomatyzowanie procesów związanych z zarządzaniem portfelem projektów. Na dziś jednak nie przeprowadzono badań skuteczności zaimplementowanych rozwiązań w sektorze inżynierii ze szczególnym uwzględnieniem sektora okrętowych, wielobranżowych firm inżynierskich. Jednocześnie autorzy publikacji i wcześniejszych badań wskazują na istnienie luki badawczej i zachęcają do prowadzenia badań dotyczących praktycznej implementacji rozwiązań i ich testów w różnych środowiskach.

5. ANALIZA OBECNEGO STANU WIEDZY Z ZAKRESU REALIZACJI PROCESU PROJEKTOWANIA

5.1. STRUKTURA ORGANIZACYJNA WIELOBRANŻOWEJ FIRMY PROJEKTOWEJ

Profesjonalna firma projektowa to w dzisiejszych czasach przedsiębiorstwo funkcjonujące w strukturze macierzowej, które jest jednym z wielu przedstawionych na przykład w standardzie BS 6079 [48] sposobów organizacji przedsiębiorstwa [40]. Przykładowa struktura macierzowa wielobranżowej firmy projektowej z branży okrętowej przedstawiona została na rysunku 1 poniżej, opis skrótów przedstawionych na rysunku 2 zawarto w tabeli 2:



Rysunek 2: Schemat organizacyjny wielobranżowej, okrętowej inżynierskiej firmy projektowej.

Skrót	Opis jednostki organizacyjnej okrętowej, wielobranżowej firmy projektowej wraz ze skrótowym wyjaśnieniem zakresu odpowiedzialności i podległości.	
BO - Zarząd	PR	President of the board - Prezes zarządu
	VPR	Vice President - Wiceprezes zarządu
	BOM	Member fo the board - Członek zarządu
	PROK	Proxy – Prokurent
MD	Managing Director - Dyrektor zarządzający	
SA - Dział Sprzedaży	Head of Sales - Szef działu sprzedaży	
	ST	Technical Standards Team - Zespół odpowiedzialny za przygotowanie wewnętrznych standardów i instrukcji w firmie
	QS	Quality System and Control Team - Zespół odpowiedzialny za zarządzanie jakością w firmie w tym za kontrolę jakości na projektach
HO Hamburg Office	SAL	Salvage services – usługi z zakresu prac inżynierskich realizowanych w odpowiedzi na katastrofy i wypadki morskie
	INS	Insurance – usługi dla morskich firm ubezpieczeniowych i kancelarii prawnych obsługujących armatorów, rzeczoznawcy sądowi na międzynarodowym rynku morskim
	SOF	Software – dział wytwarzania oprogramowania dla armatorów dedykowanego do obsługi i eksploatacji statków.
MO Mikolaev Office	SIM	Simulation – dział symulacji cyfrowych, wizualizacji i analiz
	RSM	Russian speaking market – zespół odpowiedzialny za rozwój zaplecza zasobów inżynierskich i klientów na rynkach rosyjskojęzycznych
	ERD	Engineers Rent Department – zespół zajmujący się wynajmem inżynierów w celu realizacji projektów w siedzibie klienta
DD Dział Projektowania	STC	Ship Theory Calculation – Dział obliczeń teorii okrętu
	SHD	Ship Hull Design – Dział projektowania konstrukcji kadłuba
	SDO	Ship Deck Outfitting – Dział projektowania urządzeń pokładowych i wyposażenia pokładu
	SM	Ship Machinery – Dział systemów napędowych i maszyn okrętowych
	SPS	Ship Piping Systems – Dział systemów i rurociągów okrętowych
	SE	Ship Energy – Dział elektryczny
	FEM	FEM Analyses – Dział analiz wytrzymałościowych
	HVAC	Dział wentylacji, klimatyzacji i chłodnictwa okrętowego

	GD	General Designers – Dział Głównych Projektantów
	SAUT	Ship Automation – Dział automatyki okrętowej
	SARC	Ship Architecture – Dział architektury Okrętowej
SD – Support Department Dział wsparcia procesu projektowania	AM	Administration Manager – Szef administracji
	FD	Front Desk – Sekretariat
	IT	Administrator IT
	LD	Dział prawny
	BK	Dział księgowości
	MA	Dział marketingu i wsparcia marketingowego sprzedaży i obsługi klienta
	OM	Zarządca nieruchomości i ruchomości firmy
SUB	Dział kooperacji i współpracy z podwykonawcami, kontraktacji i monitorowania podwykonawców	

Tabela 2: Opis elementów struktury organizacyjnej wielobranżowej firmy projektowej

Struktura macierzowa obejmuje pionowe tzw. „silosy kompetencyjne” zasobów branżowych. Czyli duże zespoły inżynierów z jednej branży, mechaników, automatyków, elektryków, technologów itp., którzy tworzą pracownie branżowe realizujące wiele projektów w zakresie swojej branży jednocześnie. Jednym z istotnych i charakterystycznych elementów struktury jest pion realizacji projektów/zarządzania projektami, skupiający kierowników projektów, z których każdy może prowadzić minimum jeden projekt. Projekty przechodzą poziomo przez silosy kompetencyjne, których kierownicy delegują odpowiednich projektantów do realizacji projektu [49].

W strukturze macierzowej sprzeczne interesy widoczne są pomiędzy szefem pionu kompetencyjnego, któremu podporządkowane są pracownie branżowe, dla którego nadrzędnym celem jest zbilansowanie obciążenia pracowników pionu, którym kieruje, a kierownikami projektów, z których każdy za priorytet uważa realizację swojego projektu w budżecie, terminie i jakości [50]. Mimo pewnych wad i niedociągnięć jest to najczęściej spotykana struktura organizacyjna w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych.

Naturalną cechą funkcjonowania organizacji opartej na strukturze macierzowej są konflikty wynikające ze swoistej dwuwładzy i wielości ośrodków decyzyjnych [51]. Formalno-prawne rozstrzygnięcie konfliktów i moderowanie procesów zarządzania wymaga zaangażowania managerów wyższego szczebla, w tym kierownictwa firmy i ciągłego wyznaczania priorytetów. Sytuację komplikują dodatkowo wpisane w rzeczywistość funkcjonowania wielobranżowej firmy projektowej zmiany, wynikające z błędów, modyfikacji koncepcji, opóźnień niezależnych od projektantów, spiętrzeń prac projektowych, które są dodatkowym zaburzeniem już i tak skomplikowanego w swojej naturze procesu realizacji projektów [52].

Alternatywne struktury organizacyjne występują oczywiście w wielobranżowych firmach projektowych i są to najczęściej struktury pracowni wielobranżowych wynikające głównie z kooperacji firmy projektowej z dużą organizacją wymagającą stałego wsparcia technicznego i projektowego, jak na przykład zakład zajmujący się prefabrykacją elementów stalowych, fragmentów konstrukcji, cięciem i galwanizacją rurociągów na potrzeby wielu stoczni i innych podmiotów realizujących budowę obiektów przemysłowych. Czasem struktura pracowni wielobranżowych, spotykana w sektorze infrastruktury (w szczególności budownictwa drogowego i mostowego) wynika z decyzji biznesowej założycieli, którzy preferują funkcjonowanie kilku niezależnych zespołów pod wspólną marką, z zachowaniem pozorowanej struktury korporacyjnej i wysokiej niezależności zespołów wielobranżowych.

5.2. DYSTRYBUOWANE SIECI POWIĄZAŃ MIĘDZY FIRMAMI PROJEKTOWYMI

Wielobranżowa firma projektowa w wyniku sinusoidalnego w czasie charakteru obciążenia organizacji pracą oraz w celu redukcji kosztów wytworzenia projektów najczęściej korzysta z podwykonawców [53]. Łatwość angażowania podwykonawców potęgują nowoczesne, oparte na dostępnych online bazach danych systemy wspomagające projektowane i wymianę informacji pomiędzy środowiskami informatycznymi znajdującymi się w różnych fizycznych lokalizacjach [54]. W dystrybuowanej sieci projektowej uczestniczą także pozostali interesariusze procesu projektowego jak podwykonawcy, klient i jego przedstawiciele. Są to na przykład inżynier kontraktu oraz instytucje klasyfikujące w sektorze przemysłu okrętowego (np.: Det Norske Veritas, American Bureau of Shipping, Lloyd Register etc.), sprawujące nadzór techniczny oraz formalno-prawny [54]. Dystrybuowana sieć podwykonawców niesie z sobą zagrożenia, z których najważniejszymi w kontekście niniejszej pracy są zaburzenia w realizacji procesu projektowego i duża liczba zmian planów realizacji procesu projektowania.

Pierwszym zbiorem zaburzeń są zaburzenia implikujące konieczność wykonania zmian planu procesu w ujęciu krótkoterminowym, mogą one wynikać z braku prawidłowego wykorzystania narzędzi informatycznych, opóźnienia w przekazywaniu aktualnych danych projektowych lub z powodu wad funkcjonowania sieci podwykonawców w różnych strefach czasowych. Powyżej opisane źródła zaburzeń można określić jako zbiór techniczno-organizacyjny [55].

Drugim zbiorem zaburzeń jest zbiór zaburzeń ekonomicznych. Często podwykonawcy mogą okazać się bardziej uzasadnioną ekonomicznie alternatywą dla realizacji projektu, w dystrybuowanych sieciach projektowych zaburzenia opisane w tym punkcie mogą powstawać nie tylko w związku z angażowaniem podwykonawców, ale także z angażowaniem własnych zasobów w rozumieniu

formalnym, ale zlokalizowanych w odległych fizycznie miejscach, na przykład w krajach o niższym poziomie kosztów pracy [56].

Przedstawiona jako przykład struktury organizacyjnej wielobranżowej firmy projektowej polska firma inżynierska funkcjonowała właśnie w ten sposób, posiadając zaplecze na Ukrainie, w Mikołajewie, kraju europejskim, znajdującym się w tej samej strefie czasowej, jednak spoza Unii Europejskiej, o niższym poziomie wynagrodzeń inżynierów.

5.3. UNIWERSALNY PROCES REALIZACJI PROJEKTU W WIELOBRANŻOWEJ FIRMIE PROJEKTOWEJ

Iteracyjny proces projektowy dla wielobranżowych firm inżynierskich przebiega zgodnie z metodologią modelu spiralnego [57]. Nazewnictwo w poszczególnych sektorach inżynierii, stosowane do opisywania projektowanych obiektów, składnia oraz specyfika samych obiektów sprawiają, że można odnieść wrażenie, że przebieg procesu projektowego jest różny dla różnych obszarów inżynierii. Możliwe jest zdefiniowanie uniwersalnego, głównego, iteracyjnego procesu projektowania, który po uwzględnieniu specyficznego dla różnych obszarów inżynierii nazewnictwa poszczególnych elementów procesów może posłużyć jako łącznik pomiędzy różnymi sektorami inżynierii [58]. Przyjęcie takiego założenia pozwala na znaczące rozszerzenie potencjału opracowywanego rozwiązania, gdyż odpowiedni wybór procesów optymalizacji pozwoli na znaczące zwiększenie potencjalnego grona odbiorców wdrażanego rozwiązania.

Poniższa tabela przedstawia także przykładowe różnice w składni dla firm wykonujących projekty przemysłowe między innymi w zakresie inżynierii mechanicznej i takich, dla których inżynieria mechaniczna stanowi łącznik między sektorami. Wykonywane przez projektantów prace projektowe i zadania są w zakresie merytorycznym identyczne, jednak w różnych sektorach inżynierii, w tych samych branżach, stosowane jest zróżnicowana terminologia.

Opis składnika projektu / Wybrany sektor inżynierii	Okrętownictwo	Budownictwo przemysłowe	Energetyka
Zakontraktowane prace projektowe zdefiniowane co do zakresu i wartości w umowie ze zleceniodawcą	Projekt	Budowa	Zadanie
Wybrany fragment projektu zdefiniowany co do zakresu, czasu trwania i kończący się opracowaniem kompletnego zestawu dokumentacji	Etap	Tom	Faza
Najmniejszy element projektu delegowany do wykonania pracownikowi lub zespołowi projektowemu	Zadanie	Projekt	Aktywność

Przygotowany przez inwestora dokument opisujący kluczowe parametry projektowanego obiektu	Specyfikacja Techniczna	SIWZ	Założenia inwestycyjne
Dokument zawierający informacje niezbędne do wykonania rurociągów	Katalog odcinków prefabrykowanych	Spool	Spool
Lokalny układ współrzędnych dla projektu	Wręgi, pokłady	Siatka słupów	Siatka słupów
Grupa projektantów jednej branży podległa tej samej osobie w firmie projektowej	Pracownia branżowa	Departament	Dział

Tabela 3: Przykładowe różnice w składni w różnych sektorach inżynierii.

5.4. PROCES GŁÓWNY

W wielobranżowej inżynierskiej firmie projektowej, proces planowania i realizacji projektu jest procesem głównym. Wielobranżowe firmy projektowe z różnych powodów najczęściej realizują kilka projektów równoległe [59]. Na proces ten składają się następujące działania:

- finalna definicja budżetu,
- aktualizacja planu realizacji prac projektowych,
- delegowanie zadań,
- realizacja pracy zgodnie z cyklem Deminga [60] i procedurami,
- wewnętrzne działania kontrolingowe w ramach pionów kompetencyjnych i zespołów projektowych,
- racjonalne przydzielanie zadań projektowych do projektantów,
- implementacja zmian,
- zakończenie realizacji prac projektowych i przekazanie dokumentacji (finalnego rezultatu pracy projektowej) do wykonania.

Wyjątkiem od reguły (w zakresie rezultatu pracy), ale nadal mieszczącym się w ramach procesu głównego, jest sprawowanie nadzoru nad realizacją inwestycji. Obszarem szczególnie interesującym w procesie głównym jest planowanie i zmiany planów realizacji projektów na skutek zaburzeń [61].

5.5. PROCESY SŁUŻEBNE

W wielobranżowej firmie projektowej występuje wiele procesów pomocniczych, które zachodzą przed rozpoczęciem procesu głównego lub w czasie jego trwania. Nie mają one uniwersalnego charakteru. Z perspektywy realizacji procesu głównego należy wskazać, że częścią wspólną procesów pomocniczych jest ich wpływ na realizację procesu głównego oraz zakłócenia tego procesu spowodowane zdarzeniami przetwarzanymi w procesach pomocniczych lub będące ich rezultatem [62].

Procesy te powszechnie nazywane są procesami służebnymi wobec procesu projektowania. Najbardziej oczywistym zakłóceniem dla realizacji procesu głównego jest wypracowane w procesie kontraktacji rozpoczęcie realizacji nowego projektu. Wybrane procesy służebne zostały przedstawione poniżej:

- proces analizy rynku i poszukiwania okazji,
- proces sprzedaży, marketingu, operacji i kontraktacji,
- proces wstępnego planowania długoterminowego,
- proces analizy ryzyka,
- proces kontroli jakości,
- proces wyboru, kontraktacji i zarządzania podwykonawcami,
- proces obsługi konsorcjantów,
- proces kontrolingu finansowego i sprawozdawczości,
- proces zarządzania zasobami ludzkimi,
- proces nadzoru,
- proces zarządzania bezpieczeństwem informacji,
- proces obsługi zintegrowanych systemów zarządzania jakością.

5.6. ANALIZA POTENCJAŁU PROCESÓW NA IMPLEMENTACJĘ ROZWIĄZAŃ OPARTYCH NA SI

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 [63]. W rezultacie przeprowadzonej analizy działania i procesy wchodzące w skład projektowania przypisano do trzech grup, charakteryzujących się niskim, średnim i wysokim potencjałem na wdrożenie. Grupy te zobrazowane są w poniższej tabeli.

L.P.	Nazwa procesu	Wyjaśnienie
Procesy o niskim potencjale implementacji SI		
1	Proces pozyskiwania zamówień	Proces oparty w inżynierskich firmach projektowych na bezpośrednich relacjach międzyludzkich i interakcjach biznesowych nie wykazuje znaczącego potencjału do implementacji SI [64]. Jednocześnie istnieje bardzo dużo wdrożeń SI we wstępnych etapach procesów sprzedaży, brak im jednak istotnego związku z inżynierią mechaniczną, co dodatkowo ogranicza zasadność zastosowania technologii SI w kontekście niniejszej rozprawy.
2	Proces sprzedaży usług inżynierskich i autorskich projektów	Podobnie jak w przypadku pozyskiwania zamówień, proces ten bazuje na bezpośrednich relacjach, co ogranicza możliwości automatyzacji i zastosowania SI [66].
3	Proces analizy ryzyka realizacji inżynierskich prac projektowych	Mimo dobrze udokumentowanej struktury procesu oraz istnienia skutecznych narzędzi do analizy ryzyka, proces ten nie wykazuje istotnego potencjału dla zastosowań SI w kontekście niniejszej pracy i inżynierii mechanicznej [67].
4	Proces kontraktacji inżynierskich prac projektowych	Ze względu na marginalny udział inżynierów oraz przynależność do dziedziny handlowej, proces ten nie jest perspektywiczny w zakresie implementacji SI w kontekście niniejszej pracy, mimo że istnieją liczne opracowania i wdrożenia SI w tym zakresie [68], odnoszą się one jednak do aspektów prawnych i formalnych procesu.
5	Proces nadzoru projektowego nad realizacją inwestycji	Proces wymaga wysokiego stopnia zaangażowania osobistego i interakcji międzyludzkich, co czyni jego automatyzację wysoce problematyczną, mimo to dostępne są na rynku rozwiązania i prowadzone są liczne prace wdrożeniowe i badawcze w wielu sektorach inżynierii, co powoduje, że nie jest możliwe obecnie zdefiniowanie w jasny i precyzyjny sposób luki badawczej [69]
Procesy o umiarkowanym potencjale implementacji SI		
6	Proces wyceny inżynierskich prac projektowych	Proces, mimo konieczności zaangażowania inżynierów mechaników, posiada stosunkowo łatwą do modelowania strukturę. Istnieje możliwość zastosowania SI w zakresie automatyzacji analizy kosztowej i prognozowania kosztów na podstawie historycznych danych, dostępne są także w tym obszarze liczne gotowe rozwiązania, luka badawcza ma charakter zagadnień niszowych z perspektywy inżynierii mechanicznej [70].
7	Proces zarządzania relacjami z podwykonawcami i konsorcjantami	Mimo, że proces jest częścią inżynierii mechanicznej, jego charakter wymaga nadzoru ludzkiego. SI mogłaby jednak wspomagać komunikację i koordynację [71].
8	Proces zarządzania portfelami realizowanych projektów inżynierskich	Zarządzanie portfelem projektów inżynierskich może być usprawnione poprzez narzędzia SI do prognozowania obciążeń, przygotowania racjonalnych harmonogramów i racjonalnej alokacji zasobów [72].
Procesy o wysokim potencjale implementacji SI		
9	Proces planowania obciążenia zasobów ludzkich (projektantów)	Proces ten jest integralną częścią inżynierii mechanicznej i produkcji. Wymaga zaawansowanych decyzji opartych na danych historycznych i bieżących. Z uwagi na istnienie bogatego zbioru danych w systemie Wayman ERP (zawierającego sekwencje działań, harmonogramy, budżety oraz analizę pracochłonności), istnieje możliwość trenowania algorytmów SI w celu wsparcia

		podejmowania racjonalnych decyzji dotyczących alokacji zasobów i przewidywania obciążeń [73].
10	Proces kontroli jakości	Proces ten, jako integralna część inżynierii mechanicznej, posiada duży potencjał do implementacji SI. Obecne ograniczenia wynikają jednak z rozproszenia danych (zapisy ISO 9001 prowadzone w arkuszach Excel lub na papierze). Szerokie wdrożenie narzędzi do cyfrowego gromadzenia danych umożliwi rozwój modułów opartych na SI [74].
11	Proces zarządzania obiegiem informacji i dokumentacją	Mimo, że temat ten jest już szeroko badany, SI może wnieść istotne usprawnienia w zakresie organizacji, klasyfikacji i automatyzacji przetwarzania dokumentów inżynierskich [75].
12	Proces zarządzania zmianami	Z uwagi na związek z inżynierią mechaniczną i inżynierią produkcji, efektywność realizacji tego procesu może być poprawiona przy pomocy SI, zwłaszcza w kontekście analizy wpływu zmian na harmonogramy i zasoby [76].

Tabela 4: Zestawienie procesów z uwzględnieniem ich potencjału na implementację SI w obszarze inżynierii mechanicznej.

Analiza obecnego stanu wiedzy w zakresie potencjału pogłębionej digitalizacji procesów poprzez implementację SI wykazała, że poszczególne obszary działalności inżynierskiej charakteryzują się obecnie zróżnicowanym potencjałem na automatyzację i wsparcie przez algorytmy sztucznej inteligencji. Największy potencjał implementacji SI wykazują procesy związane z obciążeniem projektantów zadaniami wynikającymi z planu i jego zmian, kontroli jakości, zarządzania dokumentacją oraz zmianami, głównie z uwagi na istnienie obszernego zbioru danych historycznych oraz możliwości predykcji i przygotowania racjonalnego planu działań. Z kolei procesy opierające się na bezpośrednich relacjach i interakcjach międzyludzkich mają niewielki potencjał automatyzacji, co sprawia, że implementacja SI w ich ramach jest mało zasadna.

5.6.1. Sposoby wizualizacji macierzy obciążenia zasobów w ujęciu krótkoterminowym

W wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych sytuacja w której projektant ma zaplanowane w tym samym czasie do wykonania zadania z kilku projektów jest typowa [77]. Kierownicy poszczególnych projektów koncentrują się na realizacji swoich projektów i traktują zadania związane z ich projektami jako najbardziej priorytetowe. Jednocześnie pracownik, uczestnicząc w kilku projektach, może mieć w konsekwencji kilku zwierzchników [77]. Swoista wielowładza może przeszkadzać w realizacji projektu, dlatego też rolę koordynatora pracy biorą na siebie kierownicy pracowni/zespołów branżowych.

Nie rozwiązuje to istoty problemu, polegającej na konieczności pogodzenia sprzecznych interesów i nakładających się na siebie zadań [78]. Rozwiązaniem w tej sytuacji jest wykonanie zbiorczego harmonogramu dla wszystkich projektantów określających wytyczne dla poszczególnych projektantów.

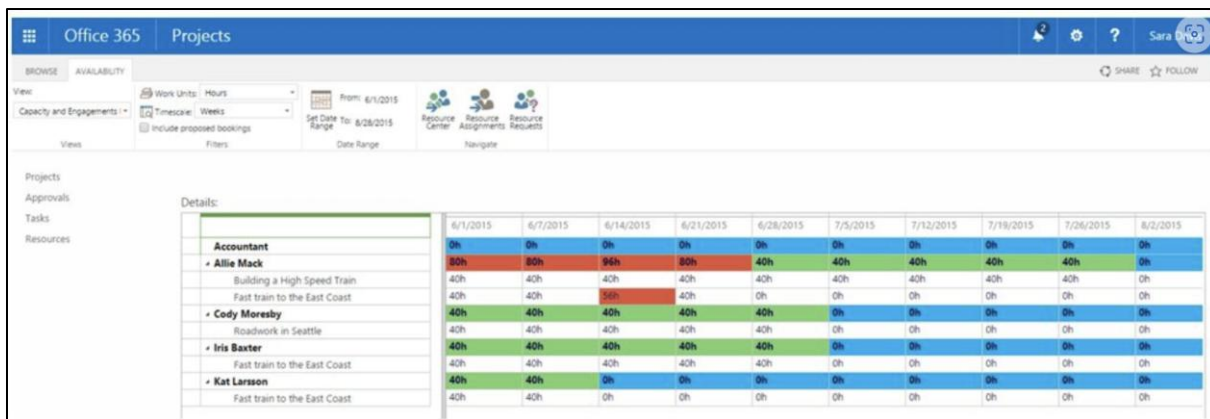
Imię i nazwisko	Stanowisko	sty.25	lut.25	mar.25	kwi.25	maj.25	cze.25	lip.25	sie.25	wrz.25	paź.25	lis.25	gru.25
Adam Bień	Projektant	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%
Bartosz Uciński	Projektant	PRC 20%	PRC 20%	PRC 20%	PRC 20%	PRC 100%	PRC 100%	PRC 100%	PRC 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%
Krzysztof Hiblar	Projektant	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%
Tomasz Kamyski	Projektant	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%
Barbara Jarco	Projektant	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%
Halina Drożdż	Projektant	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	MRA 100%	FREE 100%	FREE 100%	FREE 100%
Wojciech Szyca	Projektant	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	SOG 100%	FREE 100%

Tabela 5: Widok na narzędzie do planowania zasobów projektowych w programie Excel.

W pierwszej kolumnie tabeli 5 przedstawiono imię i nazwisko pracownika, w kolumnie drugiej rolę w organizacji, a w następnych kolumnach kolejne miesiące 2025 roku. W każdej komórce znajdującej się na przecięciu linii zasobu i danego miesiąca znajduje się informacja o projektach w których zaangażowany jest projektant. Projekty identyfikowane są trzyliterowymi skrótami np.: MRA, PRC, SOG. Brak obciążenia i niepełne obciążenie oznaczone są kolorem żółtym i opisem „FREE”. Niepełne obciążenie pracą projektową opisane jest dodatkowo wartością procentową udziału pracy na projekcie w dostępnym dla firmy czasie pracy projektanta. Przedstawiony model jest bardzo ogólny, jednostka obciążenia projektanta jest miesiąc, lub fragment miesiąca. Tego typu plany obciążenia są modelem bardzo zgrubnym i pokazują bardzo ogólny poziom planowania [79] realizacji pracy projektowej. Perspektywa przedstawiona w arkuszu kalkulacyjnym jest perspektywą długoterminową.

Po określeniu priorytetów, nałożeniu na siebie harmonogramów poszczególnych projektów możliwe jest zbudowanie kompleksowego planu, którego wizualizacją graficzną jest macierz obciążenia zasobów, pokazująca w zbiorczej tabeli na osi czasu zadania do realizacji ze wszystkich projektów przez poszczególnych projektantów [46]. W tabelach i na rysunkach przedstawione są obrazy macierzy obciążenia zasobów [31] przygotowane w powszechnie stosowanych w firmach projektowych programach komputerowych. Pomimo ich wykorzystania nakład pracy ze strony kadry kierowniczej jest nadal duży, a opracowanie każdego wariantu przyszłości i przygotowanie racjonalnych planów wykorzystania zasobów ludzkich jest czynnością wykonywaną w praktyce ręcznie [46].

Poniżej przedstawiono przykłady macierzy wykorzystania zasobów wykonanych w programach MsExcel, MsProject, Wayman ERP.



Rysunek 3: Widok na narzędzie do planowania zasobów projektowych w programie Ms Project 365

Na rysunku 3 pokazano widok obciążenia projektantów w programie Microsoft Project będącego częścią pakietu Office 365. Narzędzie zawiera w poziomych liniach dla każdego projektanta pogrubione rekordy nadrzędne które zawierają zsumowane w poszczególnych komórkach obciążenie wynikające z wielu zadań projektowych. Podział czasowy ustalono na tygodnie, gdzie każda komórka odpowiada innemu projektowi, Komórki oznaczone kolorem czerwonym pokazują tygodnie, w których obciążenie projektantów przekracza nominalną wartość 40 godzin, kolor zielony pokazuje tygodnie z obciążeniem równym 40h, a kolorem niebieskim oznaczone są tygodnie, w których projektanci nie są w pełni obciążeni zadaniami projektowymi.

Plan zasobów

Plan zasobów

Od: Rok: 2025 Miesiąc: Styczeń

Do: Rok: 2025 Miesiąc: Czerwiec

Pracownia: 3T

Nazwisko:

Przypisani:

Nazwisko	Imię	Pracownia	Limit [h]	2025_1 (168)	2025_2 (160)	2025_3 (168)	2025_4 (168)	2025_5 (168)	2025_6 (160)
Adamczyk	Sebastian	3T	734,78	204,25	194,53	168,00	168,00		
Ambroziak-Sulej	Malgorzata	3T	1 181,30	297,39	283,23	201,60	257,11	89,11	52,86
Bielka	Pawel	3T	832,00	168,00	160,00	168,00	168,00	168,00	
Błaszczak	Mateusz	3T	784,00	288,00	160,00	168,00	168,00		
Brzezińska	Marlena	3T	664,00	168,00	160,00	168,00	168,00		
Gadomska	Monika	3T	630,80	159,60	152,00	159,60	159,60		
Iskra	Kamil	3T	636,85	160,62	152,98	160,62	160,62	1,02	0,98
Kłosiński	Jarosław	3T	1 697,37	343,01	326,67	343,01	343,01	175,01	166,67
Knobelsdorf	Beata	3T	659,60	188,40	152,00	159,60	159,60		
Peciakowska	Agnieszka	3T	630,80	159,60	152,00	159,60	159,60		
Piecka	Cezary	3T	664,00	168,00	160,00	168,00	168,00		

Rysunek 4: Widok na narzędzie do planowania długoterminowego zasobów projektowych w programie Wayman.

Rysunek 4 pokazuje widok na plan długoterminowy przygotowany w ujęciu zbiorczym w systemie Wayman dla całej pracowni projektowej. W kolumnach pokazane jest zbiorcze obciążenie godzinowe poszczególnych pracowników. Interaktywny formularz pozwala na przejście od zbiorczego zestawienia, do szczegółów planu długoterminowego dla poszczególnych pracowników, co pokazano na rysunku 5.

Funkcjonalności pokazane na rysunkach 4 i 5 dotyczą planu długoterminowego, natomiast na rysunku 6 przedstawiono plan krótkoterminowy, pokazujący w największym stopniu szczegółowości plan realizacji projektów przez projektantów w poszczególnych dniach tygodnia w przyszłości.

Projekt	Etap	Budż. pracowni	Spyływ	Zaplan.	Pozostało	Roz.	Zak	Limit w b.o.	Zaang. [%]	2025_1 (168)	2025_2 (160)	2025_3 (168)	2025_4 (168)	2025_5 (168)	2025_6 (160)
6983 - UR: "Modernizacja PRD - Projektowa		20872	66.00	20872.40	-66.40	2025-01-01	2025-04-30	1 160.00	100.00	168.00	160.00	168.00	168.00	168.00	
7837 - UR: Doradztwo tec DT - Doradztwo te		5000	794.00	1102.17	3103.83	2025-01-01	2025-06-30	1 033.37	104.17	175.01	166.67	175.01	175.01	175.01	166.67
										343.01	326.67	343.01	343.01	175.01	166.67

Rysunek 5: Widok na narzędzie do planowania długoterminowego pracy projektanta w programie Wayman

Na przedstawionych rysunkach widoczne są dodatkowe różnice w podejściu do tworzenia samej macierzy. Istnieje systemowe podejście rozróżniające plan długoterminowy i krótkoterminowy (Wayman), oraz podejście polegające na opracowywaniu jednej zbiorczej macierzy dostępnej tylko w aktualnej wersji na przyjętym w firmie poziomie szczegółowości. Możliwe jest także ręczne tworzenie macierzy bez połączenia z jakimikolwiek zewnętrznymi źródłami danych w Excel, przy czym jest to tylko odwzorowanie wybranego stanu obciążenia projektującego w luźnym powiązaniu z rzeczywistym przebiegiem procesu projektowania.

Rysunek 6: Widok na narzędzie do wizualizacji krótkoterminowego planu obciążenia zadaniami z całego portfela projektów realizowanych przez firmę inżynierską w systemie Wayman.

5.6.2. Główne założenia dotyczące planowania projektów

W wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych wykonywane są zazwyczaj trzy główne rodzaje planów pracy/obciążenia firmy [80]. Służą one do określenia planowanego zaangażowania godzinowego poszczególnych projektantów w ujęciu miesięcznym [81]. Plan długoterminowy często jest przygotowywany w ujęciu miesięcznym zbiorczo dla osób posiadających zbliżone kompetencje i poziom wynagrodzenia, na przykład zatrudnionych na tym samym stanowisku w poszczególnych działach [82]. Uniwersalny plan długoterminowy przygotowany jest w oparciu o projekcję obciążenia poszczególnych stanowisk, dlatego daje się w łatwy sposób uzupełnić o potencjalne zaburzenia wynikające z dowolnej sekwencji przyjętych potencjalnie do realizacji projektów ofertowych [83].

Widok planu długoterminowego przydatny jest do szybkiej analizy dostępności zasobów w długiej perspektywie czasowej oraz ewentualnych porównań wyników optymalizacji obciążenia zasobów projektowych pod kątem efektywnego wykorzystania posiadanych zasobów i pod względem optymalizacji ekonomicznej [84].

Jednym z podstawowych oczekiwań pracownika jest przedstawienie przez pracodawcę przewidywalnej przyszłości realizowanych prac, ilość zmian i zaburzeń w procesie projektowym powoduje, że w praktyce wykonanie planu krótkoterminowego, zaspokajającego oczekiwania pracownika, jest uzasadnione w perspektywie dwóch, maksymalnie trzech tygodni [85].

Plan krótkoterminowy obejmuje precyzyjną informację o tym, kto ma zaplanowane do realizacji zadania na poszczególnych projektach. Istotą planu krótkoterminowego jest ujęcie w nim planowanych dat rozpoczęcia i zakończenia zadań zgodnie z harmonogramami realizacji projektów. Często w firmach projektowych zbiorczy plan krótkoterminowy jest jedynym oficjalnym dokumentem używanym do przygotowania macierzy obciążenia zasobów w ujęciu krótkoterminowym [86].

Wewnętrzny plan krótkoterminowy jest dokumentem zawierającym rzeczywistą informację na temat daty rozpoczęcia, zakończenia i budżetu godzinowego zadań na wszystkich projektach dla każdego pracownika [87]. Najczęściej realizowany jest w ograniczeniach terminowych narzuconych przez plan krótkoterminowy, ale w szczególnych wypadkach dopuszcza on 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.

Istotną cechą planu krótkoterminowego jest możliwość faktycznego przerywania pracy przez pracownika w trakcie wykonywania zadania. Najczęściej może on stanowić formę dokumentu informującego pracownika o tym, czym i kiedy powinien się zająć [88]. Z uwagi na dużą dynamikę

procesu projektowego modyfikacje i kolejne iteracje planu są wykonywane bardzo często i pochłaniają znaczną część czasu pracy personelu kierowniczego [89].

5.6.3. Zakłócenia dla procesu projektowego

Źródła zmian i zaburzeń procesu projektowania można podzielić na dwie główne grupy: zewnętrzne, pochodzące spoza organizacji, i wewnętrzne, rodzące się wewnątrz firmy projektowej. W dalszej kolejności można pogrupować zakłócenia w kategorie odpowiadające naturze zaburzenia, mogą to być między innymi:

- zaburzenia o naturze ekonomicznej,
- technicznej,
- organizacyjnej,
- prawnej lub administracyjnej [55].

Powodem przywołania w niniejszym artykule przykładów zakłóceń dla procesu jest konieczność oddania specyfiki pracy projektowej oraz wskazania intensywności zakłóceń i ich wielokanałowego charakteru. Zakłócenia te implikują konieczność wykonywania kolejnych wersji planu zasobów, zatem można wywnioskować, że duża liczba zakłóceń oznacza dużą liczbę kolejnych wersji i zmian planu [90].

Rozważając zewnętrzne źródła zaburzeń i koncentrując się tylko na tych najistotniejszych, w pierwszej kolejności należy wskazać na grupę zaburzeń pochodzących od klientów [91]. Opóźnienia w przekazaniu danych wejściowych, zmiany danych wejściowych po ich przekazaniu, modyfikacje koncepcji w toku projektowania na skutek dążenia do zmniejszenia kosztów budowy poprzez zmiany technologii lub użytych materiałów [91].

Kolejną grupą zaburzeń zewnętrznych są zakłócenia proceduralne, wynikające z możliwości niejednoznacznej interpretacji przepisów – założenia poczynione na etapie koncepcji dotyczące akceptowalnego przez towarzystwo klasyfikacyjne rozwiązania projektu statku mogą zostać podważone na etapie zatwierdzania z powodu innej, niż zakładano, interpretacji przepisów [59]. Innym zaburzeniem mającym swoje źródło we współpracy z towarzystwem klasyfikacyjnym i przedstawicielstwem administracji morskiej są opóźnienia w procesie przeglądu i zatwierdzania dokumentacji oraz wprowadzane w procesie zatwierdzania uwagi [54].

Zaburzenia pochodzące z zewnątrz są nieprzewidywalne, najczęściej mają istotny wpływ na realizację projektu, a ich pozytywną cechą jest potencjalna możliwość przesunięcia terminu zakończenia lub rozszerzenia budżetu projektu [92].

Do drugiej grupy zaburzeń wewnętrznych należą najczęściej:

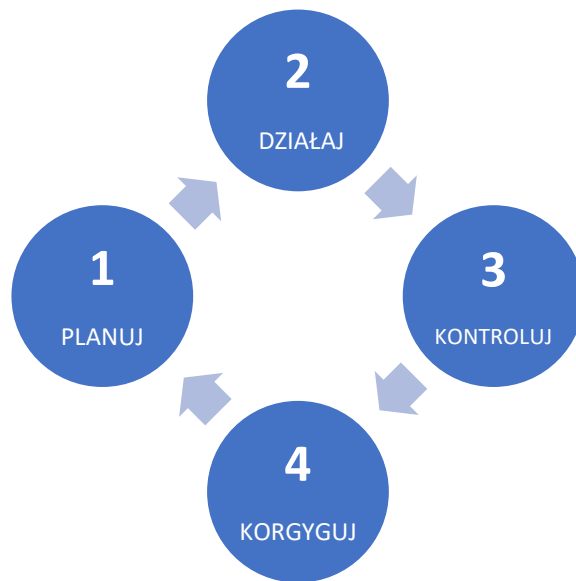
- błędy projektowe,
- brak koordynacji międzybranżowej,
- praca w oparciu o nieaktualną dokumentację,
- środowisko aplikacji BIM wspierającej proces projektowania [93],
- zwłoka w podejmowaniu decyzji.

W programach BIM źródłem zaburzeń mogą być niewłaściwe definicje geometrii i wartości parametrycznych atrybutów w bazie danych [94]. Inne zaburzenia wspólne dla wszystkich przedsiębiorstw to choroby, strajki, urlopy, w szczególności nieplanowane urlopy na żądanie, dni oddawania krwi, ćwiczenia wojskowe itp. Do opisanych powyżej przykładowych wewnętrznych zaburzeń można dodać także czysto ekonomiczne zakłócenia, które wynikają z niedoszacowania kosztów prac projektowych i wyczerpania dostępnego budżetu przed zakończeniem pracy lub też z niekorzystnych umów zobowiązujących firmę do wykonywania prac projektowych bez określenia ilości zmian czy przedmiotu opracowania [95].

Ważnym na liście przykładowych zaburzeń wewnętrznych jest zaburzenie wynikające z niekończącej się chęci doskonalenia projektu pomimo braku uzasadnienia technicznego i ekonomicznego dla tych czynności [96]. Warto kontrolować rezultaty kolejnych iteracji w procesie projektowania i obserwować ich wpływ na obiektywną jakość i wartość projektu w świetle ponoszonych nakładów [91]. 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.

5.6.4. Cykl Williama Edwardsa Deminga

Cykl Williama Edwardsa Deminga [60], często nazywany cyklem PDCA jest naturalnym sposobem realizacji projektów w wielobranżowych projektowych firmach inżynierskich. Istotą cyklu Deminga jest systematyczne wykonywanie następujących po sobie czynności zarządczych, regularnie, w zdefiniowanych odstępach czasu i w sekwencji następujących po sobie czynności związanych z planowaniem, realizacją planu, kontrolą realizacji projektu pod względem zgodności z planem i podejmowanie czynności korygujących. Poniższy rysunek pokazuje graficzną reprezentację realizacji cyklu Deminga w inżynierskiej firmie projektowej.



Rysunek 7: Infografika prezentująca przebieg realizacji cyklu Deminga w wielobranżowej inżynierskiej firmie projektowej.

Początkiem cyklu w każdym wypadku jest przygotowanie planu, który w realiach wielobranżowej firmy projektowej sprowadza się do szczegółowego określenia kto, co, kiedy ma robić i na jakim projekcie. Przygotowanie takiego planu wymaga interakcji kierowników pracowni branżowych i kierowników projektów oraz racjonalnego wykorzystania zasobów przy jednoczesnym wykluczeniu ewentualnych konfliktów. W założeniu bazowym cyklu Deminga kolejne rewizje i aktualizacje planu są realizowane w zdefiniowanych, powtarzalnych odstępach czasowych, zwykle raz w tygodniu, jednocześnie każde istotne zaburzenie i zmiana powoduje konieczność przeglądu planu i rozważenia jego aktualizacji.

Czynności związane z realizacją działań proceduralnych wynikających z realizacji cyklu PDCA są z jednej strony pracochłonne [97], a z drugiej często wymagają zaangażowania cennych zasobów osobowych firmy, nawet jeśli zmiany bezpośrednio nie dotyczą projektów, za które te osoby są odpowiedzialne. Powyżej opisana, niekorzystna sytuacja, polegająca na angażowaniu w rozwiązywanie problemów osób niepowiązanych bezpośrednio z zaburzeniami wynika z wymagań procesu zmian planów realizacji zasobów, w ramach której dopuszcza się angażowanie częściowo obciążonych zasobów z innych projektów do wsparcia zespołów dotkniętych skutkami zmian. Dopuszczalne jest także wprowadzanie modyfikacji w planach projektów niezagrożonych, których nie dotyczą zmiany, by uwolnić zasoby i zmniejszyć negatywne skutki zmian na innych projektach [98].

Opisując cykl Deminga w kontekście wielobranżowej inżynierskiej firmy projektowej należy wskazać także, że przedmiotem planowania w ramach procesu realizacji cyklu (czyli w rzeczywistości procesu planowania realizacji prac projektowych) jest określanie planowanych parametrów wszystkich wierzchołków równowagi projektów, zdefiniowanych jako wierzchołki trójkąta równowagi projektów.

W inżynierii powszechnie przyjęło się za obowiązujący termin ostrosłupa równoramiennego posiadającego 4 wierzchołki równowagi projektów, czyli czas, zasoby, zakres i jakość.

5.6.5. Praktyczne procedury planowania i zmian planów obciążenia projektantów

Bez względu na stopień digitalizacji przedsiębiorstwa planowanie obciążenia zasobów inżynierskich zadaniami wynikającymi ze znajdujących się w portfolio projektów wykonywana jest przez osoby podejmujące samodzielnie lub kolektywnie decyzje dotyczące realizacji projektów na podstawie własnego doświadczenia, dostępnych danych historycznych i bieżących informacji na temat realizowanych projektów [99].

Obecnie ta praca jest realizowana najczęściej ręcznie, ewentualnie wspierana w trakcie ręcznego przygotowywania wariantu obciążania funkcjami automatyzującymi czynności człowieka [100]. W firmach projektowych ręczny proces planowania zadań projektowych dla inżynierów jest czynnością mozolną, czasochłonną i bardzo kosztowną. Przyczyny tej sytuacji wynikają z konieczności zaangażowania wysoko wykwalifikowanych ekspertów, którzy muszą w sposób praktycznie ciągły podejmować się zmian obowiązujących planów z uwagi na występujące zakłócenia i na bieżąco reagować na nowe dane i zaburzenia [83].

5.7. WPŁYW ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA

Zintegrowane systemy zarządzania (ZSZ), ustalone przez normy ISO (np. ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001) oraz AQAP (Allied Quality Assurance Publication), stają się nieodłącznym elementem funkcjonowania współczesnych firm wielobranżowych, oferujących usługi między innymi dla sił zbrojnych [101], [102]. Ich wprowadzenie pozwala na koordynację procesów, poprawę jakości oraz zwiększenie efektywności zarządzania w skomplikowanych środowiskach projektowych. ZSZ wprowadzają standardy w zarządzaniu jakością, które umożliwiają firmom wielobranżowym stosowanie jednolitych procedur niezależnie od działu [102].

Dzięki temu minimalizowane są błędy wynikające z różnorodności podejść w różnych branżach, zwiększa się przewidywalność wyników projektów, klienci zyskują większe zaufanie do firmy, dzięki certyfikacji systemu zarządzania. W systemach AQAP szczególny nacisk kładziony jest na zarządzanie jakością, dlatego powszechnie wymagane jest dokumentacja dla sektora obronnego [103]. ZSZ pozwalają na lepsze wykorzystanie zasobów, redukcję kosztów i optymalizację procesów. W firmach wielobranżowych efektywność operacyjna jest kluczowa, gdyż różnorodność projektów wymaga skoordynowania działań wielu zespołów o różnych specjalizacjach, zarządzania kompleksowymi harmonogramami i budżetami, szybkiego reagowania na zmiany w wymaganiach klientów.

Mimo licznych korzyści, wdrożenie zintegrowanych systemów zarządzania wiąże się także z wyzwaniem takimi jak konieczność dostosowania systemów do specyfiki różnych branż, koszty początkowe związane z certyfikacją i szkoleniami, opór pracowników wobec zmian w procesach zachodzących w firmie. Problem ten szczególnie dotyczy małych i średnich firm [104]. Zintegrowane systemy zarządzania, takie jak ISO i AQUAP, mają istotny wpływ na rzeczywistość wielobranżowych firm projektowych. Poprawiają jakość, efektywność i bezpieczeństwo, umożliwiając skuteczną realizację złożonych projektów. Ważne jest jednak odpowiednie dostosowanie tych systemów do specyfiki działalności oraz efektywne zarządzanie procesem ich wdrażania.

5.8. PROGRAMY KOMPUTEROWE WSPOMAGAJĄCE PROCES PROJEKTOWANIA

Rynek aplikacji wspomagających projektowanie jest niezwykle dynamiczny. Firmy projektowe przystępując do realizacji prac projektowych muszą być zdolne do sprostania wymaganiom inwestorów, które często są pochodną realizowanych przez nich (często wielkie firmy konstrukcyjne, stocznie, generalni wykonawcy) procesów digitalizacji swoich działań operacyjnych. Firmy muszą także w sposób ciągły rozwijać swoje własne zaplecze informatyczne, implementować nowe narzędzia, wdrażać je, doskonalić sposoby ich użycia i szkolić personel.

Poziom trudności dodatkowo podnoszą wymagania zewnętrzne, niezależnych instytucji nadzorujących zgodność dokumentacji z przepisami prawa i regulacjami. Najlepszym przykładem takich organizacji zewnętrznych wywierających znaczący wpływ na sposób realizacji projektu oraz wymagający swoich własnych platform wymiany informacji i monitorowania statusów poszczególnych dokumentów w sektorze okrętowym towarzystwa klasyfikacyjne takie jak DNV, LR, ABS.

Proces projektowania może być wspierany przez rozwiązania informatyczne skoncentrowane na aspektach biznesowych, dlatego też idea budowy dedykowanych dla sektora inżynierskiego narzędzi klasy ERP (Enterprise Resources Planning) nie jest nowa. Już na początku dwudziestego pierwszego wieku dostrzeżono potrzebę istnienia takich rozwiązań, a pierwsza dekada tego wieku doprowadziła do wyłonienia regionalnych dostawców oprogramowania. Nie dziwi zatem zainteresowanie środowiska naukowego tą tematyką. W będącej istotnym graczem zarówno na rynku budownictwa okrętowego i infrastrukturalnego Korei Południowej badacze Park i Lee w swoim studium z 2010, [105] udowodniali, że wielobranżowe inżynierskie firmy projektowe stanowią odrębną grupę wymagającą specyficznego podejścia do implementacji systemów klasy ERP.

Wraz z upływającym czasem, rosnącym zainteresowaniem i poziomem potrzeb w firmach inżynierskich, w poszczególnych krajach pojawiły się wyspecjalizowane firmy w tworzeniu oprogramowania na lokalny rynek inżynierskich firm projektowych, coraz popularniejsze stały się także

wdrożenia dużych systemów klasy ERP. W największych biurach projektowych, wdrożenia te są ograniczone z uwagi na specyfikę firm oraz zakres procesów w nich zachodzących. To czy narzędzia dedykowane wielobranżowym inżynierskim biurom projektowym należą do zbioru systemów klasy ERP może budzić kontrowersje i wywoływać dyskusję, istotne jest jednak, że w sposób powszechny powstają rozwiązania informatyczne dedykowane wsparciu procesu realizacji prac projektowych w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych [106].

W Polsce środowisko systemów wspierających proces projektowania jest rozproszone, składają się na nie systemy rozwijane organicznie w dużych firmach projektowych [107], wdrożenia wiodących, uniwersalnych systemów ERP jak SAP, IFS, Microsoft Dynamics, wdrożenia dedykowanych sektorowi inżynierskiemu rozwiązań jak Wayman. Bardzo często niska świadomość właścicieli, kadry kierowniczej i pracowników powoduje mylenie programów służących do zarządzania projektem z systemami wspierających firmy inżynierskie w realizacji procesu projektowania [106].

Środowisko rozwiązań i narzędzi informatycznych w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych uzupełniają dodatkowo liczne rozwiązania [107] dedykowane zarówno procesom ogólnozakładowym jak zarządzanie plikami, systemy PDM, narzędzia do wersjonowania dokumentów, rozwiązania umożliwiające alokację roboczogodzin na projektach, rozwiązania do projektowania, tworzenia dokumentów, systemy BIM [108], platformy wymiany informacji, rozwiązania kreślarskie, dedykowane specyficznym branżom rozwiązania CAD oraz obliczeniowe.

Osobną i dodatkową grupę programów tworzą narzędzia księgowe, służące do gromadzenia informacji i posiadające ograniczone funkcjonalności przetwarzania danych arkusze kalkulacyjne lub proste bazy danych. Różne narzędzia często posiadają bardzo zbliżone funkcjonalności, pozwalają między innymi na delegowanie zadań, tworzenie dokumentów, zarządzanie statusem, zasilanie baz danych informacjami, jednak nie są one z sobą zintegrowane. Brak integracji powoduje, że dane wprowadzane w jednym narzędziu nie są widoczne w innych, co powoduje niespójność informacji i konieczność wprowadzania tych samych danych w różnych aplikacjach, co zwiększa ryzyko błędów.

5.9. UWAGI KRYTYCZNE NA TEMAT SPOSOBÓW PLANOWANIA I ZMIAN PLANÓW OBCIĄŻENIA ZASOBÓW

Opisany w poprzednich punktach obecny stan wiedzy na temat realizacji procesu projektowania pozwala na sformułowanie szeregu krytycznych uwag na temat sposobów planowania i zmian planów obciążenia zasobów inżynierskich. Struktura macierzowa, choć elastyczna, prowadzi do konfliktów interesów między kierownikami projektów, a liderami działów kompetencyjnych. Problemy wynikające

z "dwuwładzy" oraz wielości ośrodków decyzyjnych często wymagają interwencji wyższego szczebla, co wydłuża procesy decyzyjne i zwiększa ryzyko opóźnień.

Brak powszechnej standaryzacji i integracji danych pomiędzy stosowanymi narzędziami prowadzi do ręcznego wykonywania zadań polegających na zbieraniu i przetwarzaniu danych, co jest czasochłonne i kosztowne. Niejednorodność narzędzi utrudnia również monitorowanie aktualności danych i szybkie reagowanie na zaburzenia poprzez szybkie zmiany planów obciążenia zasobów.

Duża liczba zmian wynikająca z nieprzewidywalnych zakłóceń (zewnętrznych, jak zmiany w wymaganiach klientów, i wewnętrznych, jak błędy projektowe) wymusza częste rewizje planów. Ręczne przetwarzanie tych zmian obciąża personel kierowniczy i generuje dodatkowe koszty nie tylko wynikające z kosztów pracy osób zajmujących się zmianami planów, ale także kosztów pracy projektowej wykonywanej przez zespoły projektowe na podstawie planów, które mimo, że już nie są aktualne, to jeszcze nie zostały zastąpione nową wersją planu.

Udział projektantów w wielu projektach prowadzi do konfliktów priorytetów i trudności w zarządzaniu ich obciążeniem. Koordynacja pracy wymaga zbiorczych harmonogramów i macierzy obciążenia, które w praktyce są trudne do przygotowania i aktualizacji w dynamicznych warunkach. Stosowanie cyklu Deminga (PDCA) w firmach projektowych wiąże się z dużymi nakładami pracy i koniecznością częstych aktualizacji planów. Angażowanie wysoko wykwalifikowanego personelu w procesy rewizji planów znacząco zwiększa koszty operacyjne.

Planowane i wymuszone zmianami oraz zaburzeniami zmiany planów w wielobranżowych firmach inżynierskich to czynności wykonywane w firmach projektowych praktycznie w sposób ciągły. Wysokie wynagrodzenia osób odpowiedzialnych za zmiany planu powodują, że koszt realizacji procesu planowania projektowania i zmian planów jest zadaniem kosztownym dla firmy. Łatwo mierzalne koszty bezpośrednie, wynikające z przemnożenia godzin poświęconych przez ekspertów na czynności związane z planowaniem i zmianami planów przez wynikające z poziomu ich wynagrodzeń stawki godzinowe są tylko częścią kosztów jakie musi ponieść firma.

Niezwykle istotnym komponentem strat w firmie projektowej są koszty wynikające z czasu oczekiwania na opracowanie nowego planu, które prowadzą do konsumpcji budżetu projektów bez uzyskania progresu zaawansowania prac projektowych, oraz powstawania zwiększonego zagrożenia przekroczeniem terminu zakończenia prac. Mając na uwadze niski poziom marży jakim dysponują wielobranżowe inżynierskie firmy projektowe (zazwyczaj około 6%) .

Można założyć, że skrócenie czasu reakcji na zaburzenia poprzez zwiększenie jakości danych niezbędnych do podjęcia decyzji przez odpowiedzialnych ekspertów, będzie istotnym elementem

zmniejszającym ryzyko utraty rentowności projektów inżynierskich oraz ryzyko przekroczenia budżetu godzinowego. Pośrednio wpłynie także pozytywnie na jakość dokumentacji i zmniejszy ryzyko przekroczenia terminów, co z kolei wiąże się z ograniczeniem zagrożenia nałożenia kar umownych przez inwestora.

Analiza obecnego stanu wiedzy potwierdza, że proces planowania działań projektowych i zmian planów realizowanych w wyniku zaburzeń jest obszarem, w którym kumulują się ryzyka i zagrożenia dla wielobranżowej firmy projektowej, a z uwagi na złożony charakter realizowanych projektów, rozproszone informacje i trudną dostępność danych w firmach próby ograniczania ryzyka wystąpienia tych zagrożeń metodami manualnymi są bardzo kosztowne.

6. PROBLEM NAUKOWY DO ROZWIĄZANIA I JEGO PRZYDATNOŚĆ DLA PRZEDSIĘBIORSTWA

W dynamicznie zmieniającym się środowisku wielobranżowych inżynierskich firm projektowych, planowanie projektów, tworzenie i delegowanie zadań oraz dokonywanie zmian w planach staje się coraz bardziej złożonym i wymagającym procesem. Złożoność ta wynika z konieczności pogodzenia konkurencyjnych priorytetów, takich jak efektywność projektowa, jakość dostarczanych wyników oraz elastyczność w reagowaniu na zmiany. Problematyczne są sytuacje, w których tradycyjne, manualne metody stosowane w firmach projektowych nie nadążają za dynamiką projektów, co prowadzi do błędów decyzyjnych, opóźnień oraz przeciążenia projektantów przydzielonymi do realizacji zadaniami.

Dobrym przykładem mogą być tutaj projekty przebudów statków, w których pomimo przeprowadzania inwentaryzacji, skanowania laserowego i analizy dokumentacji zmiany i nowe informacje pojawiają się zawsze w toku demontażu istniejących konstrukcji i przygotowania do prac modernizacyjnych już w stoczni, po zakończeniu prac projektowych [109]. To powoduje konieczność szybkiej reakcji na nowe informacje, wykonanie rewizji już zakończonego projektu i dokonania zmian w harmonogramie realizacji pozostałych projektów, które nie uwzględniały konieczności wykonywanych na projektach modernizacyjnych zmian [110].

Jak przedstawiono w poprzednim rozdziale procesy zachodzące w wielobranżowych firmach projektowych, pomimo swojej kluczowej roli, wciąż często są realizowane w sposób manualny, oparty na doświadczeniu managerów, bez wsparcia zaawansowanych narzędzi informatycznych. Jednocześnie obserwuje się, że wiele decyzji dotyczących alokacji zasobów jest podejmowanych intuicyjnie, bez wsparcia w postaci analizy danych historycznych lub symulacji skutków potencjalnych decyzji. Taka praktyka jest nie tylko czasochłonna, ale również zwiększa ryzyko wystąpienia błędów prowadzących do wzrostu kosztów projektowych i obniżenia jakości jak i efektywności pracy.

W kontekście powyższych wyzwań można postawić kluczowy problem badawczy: 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?

Rozważając problematykę realizacji procesu projektowego w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych, po uwzględnieniu specyfiki sektora tych firm można sformułować kluczowe

trudności z jakimi obecnie mierzą się osoby odpowiedzialne za zarządzanie procesem projektowania na wszystkich szczeblach firmy projektowej:

- Brak usystematyzowanego podejścia do sposobu dokumentowania zdarzeń, gromadzenia i przetwarzania danych, co znacząco utrudnia ich analizę oraz wykorzystanie w procesie podejmowania decyzji [113]. Bardzo często firmy posiadają wdrożone narzędzia informatyczne, które nie są w odpowiedni sposób zintegrowane, oznacza to, że te same informacje wprowadzane są w wielu miejscach jednocześnie, niekiedy dane znajdują się w plikach tekstowych lub są zapisane w arkuszach kalkulacyjnych dostępnych tylko dla autorów tych dokumentów i bez zadawania im pytań nie jest możliwe pozyskanie istotnych informacji.
- Braki w zakresie standaryzacji i rozproszenie źródeł informacji powoduje, że czas niezbędny do zbudowania transparentnego obrazu jest bardzo długi, a odpowiedzi na zadane pytania, z uwagi na czas ich opracowania, są nieaktualne w momencie ich dostępności, czyli zazwyczaj kilka, kilkanaście dni od momentu przekazania zapytania i prezentują one stan na dzień zapytania [114]. Manager otrzymuje informacje o sytuacji jego zespołu projektowego na przykład na pierwszy dzień miesiąca w 20 dniu miesiąca. Jest to zwłoka bardzo mocno utrudniająca podejmowanie decyzji i dodatkowo niosąca z sobą zagrożenie realizacji niewłaściwych zadań projektowych przez zespół w okresie oczekiwania na dane niezbędne do podjęcia decyzji przez zarządzającego.

Projekty inżynierskie, szczególnie te wielobranżowe, często podlegają nagłym zmianom wynikającym z czynników zewnętrznych (np. zmiany wymagań klienta), co wymaga szybkiego dostosowania planów i zasobów [115]. W rozdziale piątym opisano szerzej zakłócenia w podziale na zewnętrzne i wewnętrzne, jednak należy wspomnieć, że dodatkowym czynnikiem utrudniającym realizację projektów inżynierskich w sposób zaplanowany jest, w naturalny sposób wynikające z macierzowej struktury organizacyjnej firmy, prowadzenie wielu projektów równocześnie, często w taki sposób, że ci sami projektanci pracują przy kilku projektach w tym samym przedziale czasowym.

Zaburzenia odbijające się na poszczególnych branżach w ramach jednego projektu, mogą z uwagi na ten fakt przenosić się na inne projekty, których realizacja zostaje zakłócona mimo braku obiektywnych przesłanek o zaburzeniach w ramach realizacji tych projektów.

Niepożądanym, ale nadal bardzo często występującym w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych zjawiskiem jest nieracjonalne ignorowanie rzeczywiście niezbędnych nakładów pracochłonności, które należy ponieść w celu zakończenia prac projektowych. Stosowanie blokad alokacji większej niż określona w budżecie ilość godzin nie spowoduje zaoszczędzenia budżetu tylko

odroczy w czasie konsekwencje niedoszacowania pracochłonności i utrudni ewentualne negocjacje i aneksowanie umów. Istotny wpływ na obniżenie efektywności ma będące pochodną nieracjonalnego planowania przeciążenie niektórych zespołów, co wpływa negatywnie na morale, jakość pracy i terminy realizacji.

Bardzo często u doświadczonych inżynierów odpowiedzialnych za planowanie pracy zespołów projektowych występuje kumulacja wpływu dwóch czynników jednocześnie, z jednej strony mają oni świadomość zagrożeń wynikających z nieracjonalnego planowania, a z drugiej z powodu braku odpowiednich narzędzi i ilości czasu potrzebnego do zebrania danych, ich analizy i opracowania najbardziej racjonalnego rozwiązania, decydują się oni opierać tylko na własnym doświadczeniu i intuicji. Niezwykle często prowadzi to do nieracjonalnych decyzji w zakresie alokacji zasobów.

W przeciwieństwie do obecnie stosowanych metod manualnych, rozwiązania wykorzystujące sztuczną inteligencję (SI) mogą przynieść przełom w zarządzaniu zasobami ludzkimi [116], dostarczając szereg potencjalnych oszczędności polepszających efektywność i rentowność wielobranżowych firm projektowych [117]. Interesującą perspektywą, którą należy jednak zawsze analizować przez pryzmat odpowiedzialności za podejmowane decyzje, jest potencjał algorytmów uczenia maszynowego do analizy danych historycznych i przewidywania obciążenia oraz racjonalnego planowania i delegowania inżynierom zadań projektowych do wykonania [118].

Systemy wspierające podejmowanie decyzji mogą dostarczać managerom rekomendacji opartych na analizie wielu wariantów realizacji projektu. SI może analizować dane projektowe pod kątem potencjalnych konfliktów harmonogramowych, pomagając w identyfikacji poszczególnych elementów ryzyka i ich minimalizacji poprzez podpowiadanie właściwych działań w celu ich mitygowania. Powiązane z digitalizacją ustandaryzowanie i systemowe, procesowe przetwarzanie danych umożliwia lepsze zarządzanie procesami i dokładniejsze przewidywanie ich wyników [69].

W toku realizacji pracy doktorskiej zostały opracowane i wdrożone rozwiązania, które znalazły zarówno praktyczne zastosowania jak i przyniosły wymierne korzyści biznesowe. Dzięki wdrożeniu nowych narzędzi cyfrowych, rezultaty procesów alokacji zasobów w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych i przebieg planowania jak i reakcji na zmiany planów nabrały bardziej racjonalnego charakteru i stały się efektywniejsze, co pozwoliło na lepsze wykorzystanie kompetencji pracowników. Planowanie i reakcja na zmiany jest szybsza, a decyzje mogą być podejmowane w oparciu o większą ilość wiarygodnych danych.

Lepsze planowanie i eliminacja błędów decyzyjnych może ograniczyć koszty związane z opóźnieniami i błędami projektowymi. Naturalną konsekwencją i zyskiem wynikającym ze wspomnianych wyżej działań jest zwiększenie przewagi rynkowej wielobranżowych firm inżynierskich,

a tym samym ugruntowanie pozycji producenta rozwijanego i wzbogacanego o nowe narzędzia systemu jako lidera i innowatora w obszarze produkcji narzędzi wspierających proces projektowania w wielobranżowych firmach inżynierskich. Bardzo ważnym zyskiem dla użytkowników końcowych systemu jest zwiększenie efektywności operacyjnej, w rozumieniu efektywności realizacji prac projektowych, poprzez znaczące skrócenie procesu podejmowania decyzji [119].

Redukcja nadmiernego obciążenia pracą poprawiła morale i zaangażowanie zespołów. Implementacja nowoczesnych narzędzi technologicznych może przyczynić się także do postrzegania firmy jako lidera innowacji w sektorze inżynierskim, a co najważniejsze zainspirować pracowników i kadre kierowniczą do pracy nad dalszym ciągłym doskonaleniem procesów realizacji prac projektowych.

Analiza problemów oraz ocena potencjalnych korzyści dla przedsiębiorstwa produkującego system wspierający realizację procesu projektowania dla szerszej społeczności wielobranżowych inżynierskich firm projektowych pozwala sformułować następującą hipotezę. **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** [76]. Z ogólnej hipotezy można wyodrębnić hipotezy szczegółowe, które pozwolą na bardziej precyzyjne ukierunkowanie badań oraz prac wdrożeniowych.

- 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].
- Wdrożenie systemów wspierających decyzje oparte na SI redukuje ryzyko błędów wynikających z subiektywnych decyzji managerów i braku pełnych danych [122].
- 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].
- 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 [123].

Hipoteza główna oraz hipotezy szczegółowe były weryfikowane poprzez badania eksperymentalne w ramach walidacji rzeczywistej, analizy porównawcze oraz testy z wykorzystaniem rzeczywistych danych projektowych. Należy podkreślić, że badania realizowane są w relatywnie hermetycznym i

ograniczonym środowisku, w którym potwierdzanie hipotez musi być realizowane ze świadomością ograniczeń i wymagań wynikających ze stosowania SI, takich jak na przykład gromadzenie wartościowych i prawidłowych danych historycznych. Efektem tego jest nie tylko teoretyczna, ale również praktyczna weryfikacja przyjętych założeń. Powstały nowe moduły systemu Wayman, które zostały przetestowane i wdrożone w rzeczywistym środowisku inżynierskim użytkowników systemu ERP firmy Wayman.

Problem planowania pracy i wprowadzania zmian do planów zasobów ludzkich w wielobranżowych firmach inżynierskich jest złożony i wymaga zastosowania nowoczesnych, zaawansowanych technologii [124]. Rozwiązanie oparte na sztucznej inteligencji pozwoliło na stworzenie narzędzi wspierających managerów w podejmowaniu decyzji, poprawiając efektywność, redukując koszty i zwiększając konkurencyjność firm na rynku oraz wprowadzając nowe sposoby planowania pracy inżynierów i przyspieszając reakcję na zmiany w procesie projektowania. Realizacja tego celu w ramach rozprawy doktorskiej jest istotnym wkładem zarówno w rozwój nauki, jak i praktyki zarządzania w sektorze inżynierskim.

7. BADANIA WRAZ Z PLANEM I METODYKĄ

7.1. OPIS BADAŃ I REALIZACJI ZADAŃ WDROŻENIOWYCH

Badania przeprowadzone w ramach pracy doktorskiej wdrożeniowej realizowane były w środowisku wielobranżowych inżynierskich firm projektowych z różnych sektorów inżynierii, w tym z sektora okrętowego, z których przeważającą grupę stanowili użytkownicy systemu Wayman. Obejmowały one dane udostępnione przez użytkowników, które zasilały wytwarzane w celach badawczych i wdrożeniowych nowe rozwiązania i moduły systemu ERP, wykorzystujące SI w celu zwiększenia efektywności procesu projektowania w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych, szczególnie firmach specjalizujących się w projektowaniu statków.

Badania obejmowały:

- analizę stanu wiedzy,
- badania ankietowe,
- badania zawartości baz danych
- badania eksperymentalne.

Proces badawczy rozpoczęty został badaniem obecnego stanu wiedzy, który był kontynuowany przez cały czas realizacji pracy doktorskiej z uwagi na dużą dynamikę w obszarze praktycznych zastosowań SI [125]. Kolejnym zadaniem badawczym była analiza procesów zachodzących w wielobranżowych firmach projektowych i na jej podstawie postawienie tezy wskazującej, które procesy charakteryzują się wysokim potencjałem na zwiększanie ich efektywności przy użyciu SI. Wyłonionym w toku dogłębnej analizy procesem był proces planowania pracy projektantów i modyfikacji planów implikowanych przez zmiany w procesie projektowania [126].

Postawione tezy poddane zostały weryfikacji w toku badań ankietowych kadry kierowniczej z inżynierskich biur projektowych, przeprowadzono pogłębione badania statystyczne dla wyników pozyskanych od przedstawicieli sektora okrętowego. Równolegle rozszerzono oryginalny plan badawczy o badanie zawartości baz danych użytkowników systemu Wayman. Dodatkowe badania zawartości baz danych systemu ERP koncentrowały się na wpływie opóźnienia aktualizacji planu realizacji inżynierskich zadań projektowych na stan realizacji projektu, jego przebieg oraz kluczowe parametry, takie jak budżet, jakość, terminowość, kompletność zakresu wykonanych prac projektowych [127].

Badania literatury wskazują na znaczenie zagadnień stanowiących tematykę rozprawy i ich bezpośrednie powiązanie z dyscypliną inżyniera mechaniczna, inżynieria produkcji i inżynieria jakości

[128]. Wyniki badań potwierdzały postawioną tezę i pozwoliły w kolejnym kroku na wykonanie specyfikacji technicznej definiującej zakres danych eksportowanych z systemu ERP oraz sposób określenia zestawu projektów, etapów, faz projektów inżynierskich i zadań do eksportu. Powyższy krok wdrożeniowy obejmował przygotowanie listy atrybutów, które służą do zdefiniowania planu obciążenia projektantów oraz warunków brzegowych dla automatycznego procesu planowania projektowania.

Na podstawie przygotowanej specyfikacji zespół programistów wykonał całkowicie nowe narzędzia pozwalające na ekstrakcję danych z środowisk baz danych użytkowników systemu Wayman ERP. Kolejnym krokiem badawczym była analiza dostępnych rozwiązań obejmujących funkcjonalności oparte na SI pod kątem ich przydatności do zastosowania w systemie Wayman i użycia przez inżynierów w toku realizacji inżynierskich projektów wielobranżowych [129]. W wyniku analizy dostępnych rozwiązań, zdecydowano się na implementację do systemu Wayman rozwiązania API firmy OpenAI [130]. Rozwiązanie wybrano mając na uwadze, że prace badawcze ukierunkowane są na aspekty związane z inżynierią mechaniczną i stworzenie rozwiązań mających na celu w prosty w odbiorze i łatwy do implementacji sposób pozwalać na wykorzystanie SI przez inżynierów bez konieczności posiadania przez nich zaawansowanej wiedzy programistycznej,

Efektom pracy badawczej była specyfikacja techniczna implementacji API OpenAI. Równolegle powstał zbiór przykładowych plików CSV zawierających dane, pochodzące z baz danych użytkowników systemu Wayman, które były gotowe do użycia w trakcie testów modułu, stanowiły one także przykład właściwych formatów danych jako wzór dla zespołu programistów.

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 [131]. Efektem prac wdrożeniowych był moduł opracowany na podstawie przygotowanej specyfikacji, który pozwalał na zasilanie modeli SI, dostarczonych przez zewnętrznego dostawcę mocy obliczeniowej i algorytmów SI, przygotowanymi danymi z baz danych użytkowników Wayman, które służyły do uczenia i walidacji algorytmów w konkretnym środowisku firmy, z której pochodziły dane źródłowe [132].

Wyniki testów wyraźnie wskazały na konieczność intensyfikacji prac nad przygotowaniem i segmentacją danych co doprowadziło w ramach prac wdrożeniowych do przygotowania specyfikacji i wytworzenia dwóch modułów wspierających segmentację danych [69] poprzez automatyczne, w przypadku pierwszego rozwiązania, lub ręczne, w przypadku drugiego rozwiązania, klasyfikowania zadań realizowanych przez inżynierów do odpowiednich elementów słowników typowych zadań

inżynierskich określanych w systemie Wayman ERP jako Uniwersalny Spis Działań / Dokumentacji (USD).

Nowe moduły wytworzone w ramach prac badawczych poddano następnie badaniom eksperymentalnym, których celem była ocena skuteczności, łatwości użycia i stopnia akceptacji obu metod przez użytkowników – czyli walidacja modelu i koncepcji. W trakcie działań wdrożeniowych realizowanych w ramach doktoratu opracowano narzędzie służące do wsparcia procesu decyzyjnego w takcie planowania obciążenia, które pozwala na określenie wartości istotnego parametru jakim jest racjonalna i wiarygodna wartość zakładanego budżetu godzinowego dla poszczególnych czynności inżynierskich. Wartość ta jest opracowywana na podstawie analizy danych pochodzących ze zbiorów powstających przy użyciu wytworzonego wcześniej modułu wspierającego klasyfikowanie zadań inżynierskich poprzez grupowanie tych samych czynności inżynierskich.

Końcowym etapem pracy doktorskiej było zasilenie opracowanego nowego modułu rzeczywistymi danymi użytkowników i walidacja uzyskanych wyników oraz finalnie wykonanie iteracji, testów i ulepszeń wytworzonego narzędzia na podstawie wniosków z testów walidacyjnych [133] realizowanych przez użytkowników końcowych.

7.1.1. Cel badań

Badania realizowane były w celu opracowania, przetestowania i wdrożenia narzędzi wspierających planowanie i zmiany planu realizacji procesu projektowania w wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych. Wytworzone w toku badań nowe narzędzia wykorzystujące sztuczną inteligencję, miały na celu poprawę efektywności procesu planowania i projektowania, wsparcie procesów decyzyjnych, redukcję kosztów operacyjnych jak i zwiększenie jakości realizowanych projektów [2].

7.1.2. Obszar badawczy

Badania w pierwszej części pracy naukowej koncentrowały się na wstępnym potwierdzeniu tezy, jej doprecyzowaniu, określeniu poziomu istotności i skali konsekwencji oraz następstw wynikających z braku efektywności procesu planowania prac projektowych w wielobranżowych firmach inżynierskich. W drugiej części prace koncentrowały się na określeniu przydatności dla wielobranżowych firm inżynierskich wytworzonych w ramach badań nowych rozwiązań w połączeniu z powszechnie dostępnymi rozwiązaniami udostępnianymi przez dostawców SI i mocy obliczeniowej, porównaniu efektywności narzędzi manualnych i rozwiązań cyfrowych w procesach decyzyjnych oraz finalnie weryfikacji użyteczności i poziomu akceptacji nowo wytworzonych rozwiązań przez użytkowników końcowych [134].

7.1.3. Plan badań

Plan badań podzielono na osiem etapów realizowanych równolegle z zadaniami wdrożeniowymi, jest on szczegółowo przedstawiony w poniższej tabeli:

Etap I: Analiza stanu wiedzy i przygotowanie danych	
Zadanie badawcze I a	Przeprowadzenie przeglądu literatury
Cel badań	Poznanie aktualnego stanu wiedzy
Metody badawcze	Analiza literaturowa,
Zadanie badawcze I b	Analiza procesów zachodzących w wielobranżowych firmach projektowych
Cel badań	Zidentyfikowanie kluczowych procesów, których efektywność realizacji może być poprawiona za pomocą SI, oraz określenie wymagań dotyczących danych niezbędnych do użycia algorytmów SI.
Metody badawcze	Eksploracyjna analiza danych, analiza procesów zachodzących w wielobranżowej firmie projektowej
Etap II: Badanie ankietowe kadry kierowniczej użytkowników systemu Wayman	
Zadanie badawcze	Przeprowadzenie szeroko zakrojonych badań kadry kierowniczej wielobranżowych, inżynierskich firm projektowych w celu zebrania opinii na temat procesów o największym potencjalnie na ich wsparcie narzędziami SI
Cel badań	Weryfikacja tezy dotyczącej wyboru procesu planowania jako cechującego się największym potencjałem na zwiększenie efektywności przy użyciu SI i metod statystycznych
Metody badawcze	Badania ilościowe i jakościowe z wykorzystaniem kwestionariuszy online
Etap III: Badanie zawartości baz danych użytkowników systemu Wayman	
Zadanie badawcze	Pozyskanie, ukrycie danych wrażliwych i analiza zawartości baz danych użytkowników systemu Wayman ERP.
Cel badań	Weryfikacja zgodności danych w bazach danych użytkowników Wayman z odpowiedziami udzielonymi w ankietach. Poszukiwanie dowodów na wzrost efektywności w konsekwencji stosowania rozwiązań informatycznych w procesach zachodzących w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych.
Metody badawcze	Eksploracja danych, analiza opisowa, wizualizacja danych, profilowanie danych, analiza rozkładów, walidacja danych. Z etapem III powiązane jest zadanie wdrożeniowe numer 1 (zdanie wdrożeniowe I) dotyczące wykonania specyfikacji technicznej definiującej zakres danych eksportowanych z baz danych oraz sposób określenia zestawu projektów, etapów, faz projektów inżynierskich i zadań do eksportu.
Etap IV: Analiza dostępnych na rynku rozwiązań SI	
Zadanie badawcze	Analiza rozwiązań sztucznej inteligencji oferowanych na rynku dogodnych dla wielobranżowych firm projektowych używających systemu Wayman
Cel badań	Celem badania był wybór dostępnego na rynku rozwiązania dostawcy modeli sztucznej inteligencji i mocy obliczeniowej poprzedzony przeprowadzeniem analizy dostępnych na rynku rozwiązań sztucznej inteligencji (SI) oferowanych przez dostawców technologicznych. Analiza miała na celu wyłonienie możliwego do wdrożenia w wielobranżowych firmach inżynierskich rozwiązania, które umożliwi firmom projektowym wykorzystanie danych z bazy systemu Wayman poprzez API do: <ul style="list-style-type: none"> • Tworzenia nowych wariantów planów projektowych.

	<ul style="list-style-type: none"> • Szybkiego reagowania na zaburzenia i zmienne w procesach projektowych. • Wykorzystania historycznych danych uczących i walidujących w celu automatyzacji procesu podjęcia decyzji.
Metody badawcze	Przegląd literatury i rynku, zdefiniowanie kryteriów oceny rozwiązań SI, gromadzenie danych o rozwiązaniach i testy eksperymentalne na wstępnie wybranym zadaniu w kontekście kryteriów oceny i potrzeb wielobranżowych inżynierskich firm projektowych
Etap V: Przygotowanie narzędzi badawczych (generatory danych uczących i walidujących, ręcznych i opartych na SI narzędziach segmentacji danych)	
Zadanie badawcze	Zadanie badawcze polegało na przygotowaniu dwóch narzędzi do zwiększenia efektywności segmentacji i kwalifikacji danych, pierwszego działającego w oparciu o algorytmy SI i drugiego, usprawniającego pracę manualną inżynierów narzędzia wykorzystującego SI.
Cel badań	Celem badań było przygotowanie opisu funkcjonalnego i specyfikacji technicznej, na podstawie której zespół programistów firmy mógł wykonać nowe moduły systemu Wayman.
Metody badawcze	Metody projektowania narzędzi badawczych, prototypowanie i modelowanie procesów.
Etap VI: Faza eksperymentalna I (segmentacja danych)	
Zadanie badawcze	Przeprowadzenie eksperymentu z udziałem dwóch grup użytkowników Wayman
Cel badań	Porównanie skuteczności, łatwości użycia i stopnia akceptacji obu metod przez użytkowników systemu Wayman. Badanie miało także na celu identyfikację korzyści płynących z zastosowania SI oraz określenie skali wyzwań, takich jak czas adaptacji użytkowników czy potrzeba weryfikacji wyników wygenerowanych przez SI.
Metody badawcze	Metody badawcze obejmowały projektowanie narzędzi, eksperymenty z udziałem użytkowników, zbieranie danych empirycznych.
Etap VII: Analiza wyników fazy I	
Zadanie badawcze	Analiza wyników fazy pierwszej badań eksperymentalnych
Cel badań	Wyłonienie rozwiązania, które na podstawie wyników badań zostało zaimplementowane do Wayman jako nowy moduł.
Metody badawcze	Analiza ilościowa: Porównanie czasów realizacji zadań i liczby błędów dla obu narzędzi. Analiza jakościowa: Opinie użytkowników zebrane za pomocą ankiet i wywiadów. Walidacja skuteczności narzędzia SI na zestawach danych historycznych pochodzących z rzeczywistych projektów.
Etap VIII: Faza eksperymentalna II (generowanie planów w reakcji na zaburzenia procesu projektowania)	
Zadanie badawcze	Zasilenie środowiska udostępnionego przez dostawcę usług SI wysokiej jakości, rzeczywistymi danymi wybranych użytkowników Wayman i pozyskanie propozycji planu działania zespołu projektowego w reakcji na zmianę.
Cel badań	Porównanie propozycji planu, zawartości, czasu odpowiedzi do rzeczywistej zmiany wykonanej przez ludzi w analogicznej sytuacji na podstawie historycznych danych użytkownika Wayman – walidacja poprzez działanie środowiska.
Metody badawcze	Analiza efektywności, porównanie czasu reakcji, kompletności planów i ich zgodności z celami projektowymi. Testy porównawcze, porównanie wyników

	SI z rzeczywistymi decyzjami użytkowników w analogicznych sytuacjach. Ocena ekspercka, analiza wyników przez specjalistów ds. zarządzania projektami pod kątem trafności i efektywności planów.
--	---

Tabela 6: Plan badań

7.2. METODYKA BADAŃ

7.2.1. Charakterystyka badań

Badania przedstawione w niniejszej pracy miały na celu analizę zastosowania sztucznej inteligencji (SI) do wspomagania procesów planowania w wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych wykorzystujących system Wayman. Przeprowadzono je w ujęciu holistycznym, ze szczególnym uwzględnieniem firm z sektora projektowania statków. Kluczowym aspektem było porównanie propozycji planów działania generowanych przez SI z rzeczywistymi decyzjami użytkowników systemu w sytuacjach wymagających reakcji na zmiany. W związku z tym zastosowano podejście wieloetapowe, łączące metody analityczne, badania empiryczne oraz eksperymenty z udziałem użytkowników, które zostały przedstawione szczegółowo w planie badań.

Metodyka badawcza opierała się na triangulacji metod, łącząc zarówno podejście ilościowe, pozwalające na obiektywną ocenę skuteczności narzędzi SI, jak i metody jakościowe, umożliwiające zrozumienie doświadczeń użytkowników oraz kontekstu organizacyjnego wprowadzanych zmian. Proces badawczy został podzielony na osiem etapów, realizowanych równolegle z zadaniami wdrożeniowymi. Badania o charakterze eksperymentalnym i wdrożeniowym, prowadzone były w rzeczywistym środowisku projektowym firmy Wayman przy udziale użytkowników końcowych.

7.2.2. Próbką badawcza

Próbki badawcze przedstawiono odrębnie dla poszczególnych etapów badań. Próbką badawczą dla badań ankietowych kadry kierowniczej składała się z 1283 pracowników firm projektowo-inżynierskich w Polsce, w tym 430 respondentów reprezentujących sektor projektowania statków. Respondenci byli menedżerami średniego szczebla w firmach inżynierskich, co oznacza, że pełnili funkcje związane z zarządzaniem zasobami ludzkimi i procesami projektowymi.

Próbkę badawczą na etapie analizy zawartości baz danych tworzy 20 baz danych użytkowników systemu Wayman, które zostały pozbawione danych wrażliwych w celu zapewnienia ochrony przed ujawnieniem informacji wrażliwych, poufnych oraz danych osobowych. Dane historyczne pochodzą z przedziału od 11 do 5 lat użycia systemu w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych w tym w firmie zajmującej się projektowaniem statków.

W fazie pierwszej eksperymentalnej dotyczącej porównania skuteczności, łatwości użycia i stopnia akceptacji metod manualnych i rozwiązań opartych na SI przez użytkowników systemu Wayman

uczestniczyły dwie dziesięcioosobowe grupy przedstawicieli średniej kadry kierowniczej, kierowników pracowni, projektantów prowadzących, kierowników projektów.

Druga faza badań eksperymentalnych obejmowała próbkę badawczą czterech (4) wybranych projektów, dla których możliwe okazało się określenie przyczyn i czasu wystąpienia zmiany, z łącznie 17 przykładowych projektów poddanych analizie, w których wystąpiły zmiany. Wszystkie projekty pochodziły z przykładowego środowiska roboczego jednego z użytkowników systemu Wayman z branży budowy statków.

7.2.3. Narzędzia badawcze

W celu realizacji badań zostały użyte ogólnie dostępne narzędzia, jak ankiety online, środowisko udostępnione przez dostawcę infrastruktury SI firmę OpenAI za pośrednictwem API. Wykonano także nowe moduły systemu Wayman, pozwalające na prowadzenie badań. Nowe moduły obejmują: narzędzie do ręcznego klasyfikowania zadań jako przynależne do odpowiednich słowników, moduł wspierający podejmowanie decyzji na etapie planowania prac projektowych w oparciu o dane historyczne, moduł służący do segmentacji i kwalifikacji ręcznie utworzonych zadań w oparciu o algorytmy lingwistyczne przygotowane na podstawie specyfikacji funkcjonalnej, moduł służący do eksportu danych uczących i walidujących oraz danych o zaburzeniach za pośrednictwem API do ogólnie dostępnych narzędzi SI udostępnianych przez firmę OpenAI i finalnie w pełni funkcjonalny, nowy moduł systemu Wayman służący do modyfikacji planów realizacji pracy projektowej przez projektantów przy użyciu zewnętrznych algorytmów SI.

7.2.4. Analiza danych

W ramach niniejszego badania ważną rolę odgrywała analiza danych zgromadzonych zarówno w bazach danych systemu udostępnionych przez użytkowników systemu Wayman, wielobranżowych, inżynierskich firm projektowych, jak i w wynikach badań ankietowych oraz eksperymentalnych. Proces analizy danych został podzielony na kilka etapów, zgodnie z przyjętym planem badawczym, co pozwoliło na systematyczne przetwarzanie, walidację oraz interpretację uzyskanych wyników.

W zależności od potrzeb prowadzono eksploracyjną analizę danych, analizę opisową i porównawczą, a w przypadku firm z sektora okrętowego także pogłębioną analizę statystyczną. Dla pełniejszego zrozumienia uzyskanych wyników zastosowano różne metody wizualizacji danych, takie jak wykresy rozkładu czasu pracy, porównania efektywności. Użycie kombinacji metod ilościowych i jakościowych, pozwoliło na rzetelną ocenę efektywności narzędzi SI oraz ich wpływu na procesy planowania pracy projektowej i zwiększania efektywności procesu projektowania.

Dzięki zastosowaniu triangulacji metodologicznej udało się uzyskać kompleksowy obraz sytuacji, który stanowi podstawę dla dalszych badań nad cyfryzacją/digitalizacją procesu planowania działań wielobranżowych zespołów projektowych w firmach opartych na macierzowej strukturze organizacyjnej.

8. WYNIKI BADAŃ, Dyskusja

8.1. Omówienie zawartości rozdziału i metodyki przedstawienia badań

Analiza stanu wiedzy, czyli etap pierwszy badań naukowych została obszernie przedstawiona w rozdziale piątym, ten rozdział koncentruje się na opisie przeprowadzonych badań, wynikach i dyskusji dotyczącej kolejnych etapów prac.

8.2. Etap drugi, badania ankietowe kadry kierowniczej użytkowników systemu Wayman.

8.2.1. Opis badań

W drugim etapie badawczym przeprowadzono badania ankietowe szerokiego grona użytkowników systemu Wayman. Badania prowadzone były przez dwa lata w gronie obecnych jak i potencjalnych użytkowników systemu Wayman. W trakcie realizacji badań korzystano z bazy danych kontaktowych firmy Wayman obejmującej około 50 000 adresów mailowych pracowników wielobranżowych inżynierskich firm projektowych w Polsce, która zawiera atrybuty precyzujące wielkość firm, sektory inżynierii w jakich działają oraz stanowiska zajmowane przez osoby znajdujące się w bazie danych. Wraz z pojawieniem się potrzeby pozyskania większej ilości ankietowanych, próbkę badawczą rozszerzono o dane kontaktowe pochodzące z zewnętrznych, komercyjnych baz danych. Zakupiono prawa do wykorzystania bazy danych użytkowników aplikacji inżynierskich oraz dostęp do platformy www.kompasinwestycji.pl.

Poza rozsyłaniem ankiet podjęto szereg działań dodatkowo angażujących społeczność managerów wielobranżowych firm inżynierskich w działalność badawczą i poszerzających ich kompetencje. Na stronie producenta oprogramowania www.wayman.software cyklicznie publikowano artykuły dotyczące problematyki funkcjonowania wielobranżowych inżynierskich firm projektowych, procesu projektowania, efektywności i planowania prac projektowych. W ramach tego działania przez cały czas trwania badań opublikowano ponad 130 artykułów na blogu firmy Wayman.

Kolejną inicjatywą wspierającą zaangażowanie kadry kierowniczej wielobranżowych firm inżynierskich były konkursy oraz działania realizowane przy wsparciu zespołu marketingu i sprzedaży firmy Wayman polegające na nagradzaniu osób, które wzięły udział w badaniu możliwością udziału w szkoleniach lub zwiększaniu puli dostępnych licencji, a także możliwość pozyskania dostępu do wyników badań i udziału w dalszych pracach badawczych w toku doktoratu wdrożeniowego, którego realizacja była otwarcie komunikowana użytkownikom.

W efekcie opisanych powyżej działań, w ciągu dwóch lat realizacji prac badawczych zebrano odpowiedzi od 1283 pracowników wielobranżowych inżynierskich firm projektowych, z różnych sektorów inżynierii, w tym z sektora projektowania statków.

8.2.2. Cel badań

Utylitarnym celem badań było ulepszenie systemu Wayman przy pomocy nowych, opartych na SI modułach wspierających proces planowania i proces zmian planu projektów w reakcji na zmiany. Konsekwencją tego było zwiększenie efektywności realizacji procesu projektowego przez użytkowników końcowych systemu Wayman. Celem naukowym było potwierdzenie sformułowanej tezy i rozwiązanie postawionego problemu naukowego. Celem naukowym było także, dowiedzenie, że proces planowania pracy projektowej i zmian planu w reakcji na zmiany jest zadaniem o dużym potencjale na zwiększanie efektywności projektowej.

Dodatkowo celem było pozyskanie subiektywnych odpowiedzi managerów na pytania dotyczące ich oceny skali pracochłonności i skali kosztów ponoszonych przez wielobranżowe, inżynierskie firmy projektowe, na planowanie pracy projektowej oraz konieczne do wykonania zmiany wynikające z pojawiających się zakłóceń.

Badanie miało także na celu poznanie opinii przedstawicieli kadry kierowniczej na temat koncepcji wytworzenia narzędzi opartych na SI w celu zwiększania efektywności procesu planowania pracy projektowej jak i poziomu gotowości użytkowników do praktycznego użycia narzędzi opartych na SI.

8.2.3. Metodologia

Postawione hipotezy ogólne i szczegółowe zostały zweryfikowane w wybranej społeczności menedżerów średniego szczebla wybranych firm projektowych i inżynierskich w Polsce za pomocą badań ankietowych. W ich toku, za pomocą anonimowych ankiet, zebrano informacje od 1283 pracowników firm projektowych i inżynierskich na temat postrzegania problemu planowania pracy projektowej i zmian planu projektowaniu w wyniku pojawiających się zaburzeń, a także przeanalizowano zawartość baz danych zawierających informacje na temat pracochłonności manualnych czynności zarządczych. Pierwszym krokiem badawczym było zbudowanie anonimowej internetowej ankiety pozwalającej uzyskać informacje istotne dla analizy problemu. Ze względu na konieczność ochrony tożsamości użytkowników ankiety były anonimowe. Pierwsza grupa pytań w ankiecie została wykorzystana do określenia charakterystyki przedsiębiorstwa, w którym zatrudniona jest osoba ankietowana. Zebrano informacje na temat skali firmy, sektora inżynieryjnego, rodzajów branż, stosowanych rozwiązań wspomagających zarządzanie, udziału pracochłonności poświęconej na zarządzanie manualne w budżecie na zarządzanie projektami oraz w ogólnym budżecie projektu. Należy podkreślić, że budżety badano zarówno w ujęciu godzinowym, jak i finansowym. Aby wstępnie

zweryfikować zasadność tezy, zbadano opinie respondentów pod kątem potwierdzenia problemu braku cyfrowego procesu planowania pracy projektowej, określenia jego znaczenia oraz możliwego wpływu wyeliminowania czynności manualnych w obszarze planowania pracy projektantów. Zestawienie tabelaryczne wszystkich pytań ujętych w ankiecie wraz z odpowiedziami znajduje się w tabeli 7.

8.2.4. Wyniki badań

Czterysta trzydzieści (430/1283) ankietowanych było zatrudnionych w sektorze projektowania statków. Przedstawiciele sektora projektowania statków stanowią najliczniejszą grupę respondentów w badaniu, a 1187 wszystkich respondentów potwierdziło, że są zatrudnieni w firmach projektowych i inżynierskich. Tak wysoki wskaźnik konwersji został osiągnięty dzięki współpracy z dostawcą oprogramowania ERP dedykowanym sektorowi projektowania i inżynierii. W wyżej wymienionej grupie 70% (893/1283) respondentów deklaruje, że planowanie projektów odbywa się ręcznie w arkuszach kalkulacyjnych, a pozostali menedżerowie korzystają również z macierzy obciążenia zasobów dostępnej w popularnych programach do planowania i zarządzania projektami.

Biorąc pod uwagę wpływ ręcznego planowania pracy projektantów na zużycie godzinowego budżetu przeznaczanego na działania zarządcze, ponad 86% respondentów (1105/1283) uważa, że ręczne działania zarządcze pochłaniają 75% lub więcej dostępnego czasu. Według respondentów koszt ręcznego planowania pracy projektowej również pozostaje wysoki, 79% uczestników badania (1010/1283) uważa, że średnio ponad 75% kosztów przydzielonych kadrze kierowniczej przypada na zarządzanie ręczne. Jest to wartość nieznacznie niższa (1010 vs 1105) od ilości godzin poświęconych na ręczne zarządzanie budżetem godzinowym, ale ze względu na fakt, że niektóre czynności związane z zarządzaniem ręcznym mogą być delegowane personelowi o niższych kompetencjach, wartości deklarowane przez respondentów wydają się być spójne. Analiza wyników badania pod kątem wpływu ręcznego planowania projektów na budżet całego projektu, zarówno w ujęciu godzinowym, jak i finansowym, wskazuje, że większość respondentów definiuje udział czynności związanych z ręcznym zarządzaniem zasobami na poziomie co najmniej 10%, zarówno w ujęciu godzinowym, jak i finansowym całego projektu.

Większość respondentów (1242/1283) definiuje eliminację ręcznego planowania pracy projektowej jako ważny aspekt poprawy efektywności firmy projektowej i deklaruje, że opracowuje kilka wariantów przyszłych planów jako część ręcznego planowania, podczas gdy 75% wszystkich respondentów (957/1283) deklaruje swoje zainteresowanie rozwiązaniem programowym wspierającym przygotowywanie wariantów planu w ramach procesu reakcji na zaburzenia w firmie projektowej i inżynierskiej. Połączone wyniki przedstawiono w tabeli 7 poniżej.

1. Czy określenie wielobranżowa, inżynierska firma projektowa opisuje organizację w której pracujesz?			
Nr	Odpowiedź	Ilość odp.	%
1.1.	Tak	1187	93%
1.2.	Nie	96	7%
2. Który sektor inżynierii jest najbliższy profilowi firmy w której pracujesz?			
2.1.	Okrętowy (projektowanie statków)	430	34%
2.2.	Infrastrukturalny	356	28%
2.3.	Budownictwo kubaturowe	120	9%
2.4.	Budownictwo przemysłowe	257	20%
2.5.	Lotniczy	7	1%
2.6.	Energetyczny	113	9%
3. Proszę wskaż w jaki sposób realizowany jest proces planowania zasobów firmie projektowej?			
3.1.	Ręcznie w arkuszach kalkulacyjnych	893	70%
3.2.	W macierzy planowania zasobów dostępnej w programie do planowania	387	30%
3.3.	W dedykowanym systemie wspierającym zarządzanie firmą	0	0%
3.4.	W inny sposób	3	0%
4. Jak duży % budżetu przewidzianego za zarządzanie projektem poświęcany jest na planowanie zasobów?			
4.1.	<25%	0	0%
4.2.	<50%	178	14%
4.3.	<75%	673	52%
4.4.	Inna wartość	432	34%
5. Jak duży jest % budżetu finansowego przewidzianego na zarządzanie projektem poświęcany na planowanie zasobów?			
5.1.	<25%	0	0%
5.2.	<50%	273	21%
5.3.	<75%	437	34%
5.4.	Inny	573	45%
6. Jak duży jest % budżetu godzinowego projektu poświęcanego na planowanie pracy zasobów?			
6.1.	<5%	767	60%
6.2.	<10%	389	30%
6.3.	<15%	124	10%
6.4.	Inny	3	0%
7. Jak duży jest the % budżetu finansowego projektu poświęcanego na planowanie pracy zasobów?			
7.1.	<5%	17	1%
7.2.	<10%	697	54%
7.3.	<15%	565	44%
7.4.	Inny	4	0%
8. Jak duży jest wpływ eliminacji ręcznego planowania zasobów na efektywność wielobranżowej firmy inżynierskiej?			

8.1.	Krytyczny	671	52%
8.2.	Znaczący	571	45%
8.3.	Marginalny	32	2%
8.4.	Nie ma żadnego wpływu	9	1%
9. Czy przygotowujesz kilka wariantów projekcji planu pracy zasobów w projekcie?			
9.1.	Zawsze	25	2%
9.2.	Kiedy jest to wymagane lub uznam to za konieczne	654	51%
9.3.	Tylko gdy jest to wymagane	595	48%
9.4.	Nigdy jest to zbędne	9	1%
10. Czy byłbyś zainteresowany użyciem narzędzia informatycznego służącego do automatyzacji procesów zarządzania zasobami nawet jeśli tworzyłoby ono tylko warianty planu do rozważenia?			
10.1.	Tak	957	75%
10.2.	Nie	258	20%
10.3.	Nie mam zdania	68	5%

Tabela 7: Kwestionariusz kadry kierowniczej średniego szczebla wielobranżowych firm projektowych.

8.2.5. Dyskusja

Planowanie pracy projektowej w ramach całego portfela projektów jest stale przedmiotem zainteresowania naukowców i zyskuje na popularności, szczególnie z perspektywy ilości publikacji na ten temat [135]. Obecnie badania eksplorują obszar systemów wspomaganie decyzji, a trendem jest opracowywanie rozwiązań bardziej zorientowanych na praktyczną stronę procesu planowania, ponieważ użyteczność wyrafinowanych metod matematycznych jest często kwestionowana [12]. W całym obszarze projektowania statków i zarządzania inżynierią, w tym planowania pracy projektantów, doceniani menedżerowie, którzy mają ograniczoną ilość dostępnego czasu i pilną potrzebę podejmowania decyzji, zawsze bardziej preferują narzędzia skracające wymagany czas niż złożone, czasochłonne metody, które wymagają udziału eksperta. [135].

Obecnie badania związane z procesem planowania pracy projektantów skupiają się na konsekwencjach zmiany i będącej integralną częścią inżynierskich firm projektowych niepewności [12]. Biorąc pod uwagę konieczność zachowania dużej gotowości do efektywnej reakcji na zmiany w portfelu projektów, pilnie potrzebna jest zdolność prognozowania przyszłości [138]. W kontekście planu pracy projektantów precyzyjne prognozowanie przyszłości jest naturalnie niemożliwe, ale koncepcja stojąca za badaniami przedstawionymi w tym rozdziale to rzeczywista potrzeba szybko dostępnego nowego wariantu przyszłego planu realizacji projektu w inżynierskiej firmie projektowej, stworzonego na podstawie parametrów łatwych do zdefiniowania przez menedżerów.

Aktualny stan wiedzy na temat zarządzania zasobami portfela projektów przedstawiają Hollister i Watkins [46]. Badacze określili siedem przyczyn problemu przeciążenia zasobów: ślepotą na wpływy, duża ilość zaangażowanych osób i wynikająca z tego „gra wieloosobowa”, polityczne kumoterstwo,

niefinansowane działania, inicjatywy doraźne, krótkowzroczność w akceptacji ponoszonych kosztów i wreszcie bezwładność inicjatyw i decyzyjna. W tym samym artykule autorzy podają przepis na praktyczne podejście do rozwiązywania ogólnego problemu przeciążenia zasobów portfela projektów i dzielą się interesującym wynikiem badań związanym ze skalą zaangażowania menedżerów w nieproduktywne i niezwiązane bezpośrednio z biznesem inicjatywy, która osiągnęła 30% całkowitego czasu.

W opisanym przykładzie firma wdrożyła proces ręcznego przeglądu planu i wybrała wariant, który pozwolił na ukończenie projektów o najwyższym priorytecie i przydzielenie większej ilości czasu i zasobów na działania związane z biznesem. Organizacja opisana przez Hollistera i Watkinsa była firmą handlową, która zmagą się z przeciążeniem i niewłaściwym przydziałem zasobów. W przypadku sektora projektowania i inżynierii skala turbulencji związanych z portfelem projektów jest znacznie wyższa i znacznie częstsza niż w przypadku firmy handlowej. Dostępne dane i możliwość stworzenia nowego wariantu przyszłości z różnymi założeniami i priorytetami są osiągalne, ale czasochłonne.

Przedstawione w wynikach badań ankietowych subiektywne oceny menedżerów dotyczące udziału działań związanych z ręcznym planowaniem pracy projektowej w ogólnym budżecie na zarządzanie projektami, który oscylował wokół 70% budżetu, wskazują, że proces planowania pracy projektowej jest obszarem zainteresowania i prawdopodobnie ma potencjał zarówno do bezpośrednich, jak i pośrednich redukcji kosztów. Jest mało prawdopodobne, aby bezpośrednia redukcja kosztów ręcznego planowania pracy projektantów była wystarczająco dobrym uzasadnieniem digitalizacji. Nie można wykluczyć, że tak jak to było z ogólnym kosztem inżynierii i budżetem godzinowym po wdrożeniu narzędzi BIM, koszt zarządzania po wyeliminowaniu zarządzania ręcznego nie zmniejszy się. Najprawdopodobniej pozostanie na tym samym poziomie lub nawet wzrośnie ze względu na koszt zakupu i wdrożenia narzędzi, jednak pośrednia poprawa, szybsze, bardziej złożone i lepsze decyzje poprawią ogólną efektywność świadczonych usług inżynierskich. Jest to z pewnością obszar bardzo interesujący i w kolejnych krokach badawczych skala konsekwencji manualnej realizacji procesu planowania pracy projektowej została zbadana.

W związku z ukierunkowaniem pracy na sektor inżynierii mechanicznej ze szczególnym uwzględnieniem wielobranżowych inżynierskich okrętowych firm projektowych, których przedstawiciele udostępnili obszerne bazy danych zawierające zapisy z kilku lat praktycznego użycia systemu Wayman wykonano rozszerzoną analizę statystyczną wyników dla sektora okrętowego (projektowanie statków). Pogłębiona analiza statystyczna uzupełnia prezentowane wcześniej wyniki ankiet i odpowiada na pytania jak sektor okrętowy różni się od pozostałych sektorów inżynierii pod

względem wprowadzania zmian do planów pracy projektowej, jaka jest gotowość do użycia narzędzia automatyzującego i jak managerowie oceniają potencjalny wpływ eliminacji działań manualnych.

W analizie wykorzystano 1283 pełne odpowiedzi ankietowe, z czego 430 pochodziło z sektora okrętowego (projektowania statków), a 853 z pozostałych branż. Aby porównać sektor okrętowy z resztą próby, przygotowano tablice częstości (tzw. tabele kontyngencji [137]) zestawiające odpowiedzi udzielone przez przedstawicieli sektora okrętowego z odpowiedziami specjalistów z pozostałych sektorów uwzględniając poszczególne kategorie odpowiedzi. 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 sektorze okrętowym sposób wprowadzania zmian planów jest wyraźnie tradycyjny: niemal dziewięciu na dziesięciu respondentów (382 z 430, czyli 88,8%) deklaruje pracę manualną w arkuszu, a korzystanie z macierzy zasobów w systemie PM należy do rzadkości (11,2%, 48 z 430). Gdy porównamy ten profil z innymi sektorami, różnice są bardzo wyraźne i statystycznie jednoznaczne – test chi-kwadrat wskazuje na silny związek między sektorem a metodą, a miara siły efektu potwierdza, że nie są to drobne odchylenia.

W sektorze okrętowym gotowość do skorzystania z narzędzia automatyzującego jest wyjątkowo wysoka, pozytywne podejście do tego zagadnienia deklaruje 93,7% badanych (403 z 430). Porównanie z pozostałymi sektorami potwierdza, że różnice te są statystycznie istotne. Co więcej, szanse uzyskania odpowiedzi pozytywnej na propozycję automatyzacji procesu planowania w sektorze są około sześciokrotnie większe niż w innych branżach, co wskazuje na bardzo sprzyjające warunki do wdrażania rozwiązań automatyzujących w tej grupie.

W sektorze okrętowym sposób oceniania skutków ograniczenia prac manualnych różni się od tego, co obserwujemy w innych branżach i nie są to przypadkowe różnice. Choć odsetek osób wskazujących na wysoki wpływ redukcji działań manualnych pozostaje w sektorze okrętowym bardzo wysoki, to jest on nieco niższy niż w pozostałych sektorach: 94,4% (406 z 430) wobec 98,0% (836 z 853). Analiza kontrastowa pokazuje, że niemal wszyscy respondenci w sektorze okrętowym dostrzegają wyraźne korzyści z eliminacji ręcznego wprowadzania zmian planu, ale odsetek tych, którzy oceniają je jako najwyższe, jest w tym sektorze nieco niższy niż w innych sektorach.

8.2.6. Wnioski

Analiza wyników prowadzi do wniosku, że opracowanie rozwiązań wspomagających proces planowania pracy projektowej oraz zmian planów w reakcji na zaburzenia i zmiany w firmach inżynieryjno-projektowych, szczególnie w sektorze okrętowym, może odpowiedzieć na istotne potrzeby menedżerów oraz zwiększyć efektywność pracy firmy. Skrócenie czasu reakcji na zmiany może prowadzić do redukcji licznych elementów ryzyka, których wyeliminowanie zwiększa konkurencyjność firmy i efektywność pracy inżynierów [141].

Odpowiedzi respondentów ankiet wskazują na wagę procesu planowania projektu i odczuwaną potrzebę poświęcenia mu dużej ilości czasu, przy jednoczesnym ostrożnym podejściu do zagadnienia przygotowywania wielu wariantów prognozy przyszłości. Duże zainteresowanie menedżerów aplikacją do przygotowywania nowego wariantu planu realizacji projektu pokazuje również, że zagadnienie to jest warte dalszych badań i jest jednym z obszarów działania firmy inżynieryjno-projektowej, który jest prawdopodobnie trudny do opanowania przy użyciu klasycznych metod manualnych [135].

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na stwierdzenie, że analizowany obszar kryje w sobie potencjał do wypracowania usprawnień, a działania związane z procesem planowania pracy projektowej można zakwalifikować jako problematyczne dla managerów, natomiast obecnie stosowane metody obarczone są licznymi zagrożeniami i są nieskuteczne. Opinie wybranej grupy menedżerów wskazują, że dalsza eksploracja danych zebranych w systemach ERP jest uzasadniona i może prowadzić do bardziej wiarygodnego i przejrzystego obrazu sytuacji, pod warunkiem, że zebrane dane zostaną odpowiednio przygotowane.

Użytkownicy powinni być odpowiednio zmotywowani do zwiększenia szczegółowości raportowania w sposób umożliwiający precyzyjne rozróżnienie czasu poświęconego na zarządzanie i przygotowanie przyszłych wariantów. Wyniki badań ankietowych potwierdzają postawioną tezę, że proces planowania pracy projektowej i proces realizacji zmian w planie pracy projektowej na skutek zaburzeń i zmian cechuje się w opinii przedstawicieli średniej kadry kierowniczej dużym potencjałem na zwiększanie efektywności, a praktyczne zastosowanie narzędzi opartych na SI i metodach statystycznych jest interesujące dla większości ankietowanych.

Wyniki pogłębionej analizy statystycznej wskazują, że sektor okrętowy charakteryzuje się wyraźnie bardziej tradycyjnym, manualnym profilem pracy, który zdecydowanie dominuje, a korzystanie z macierzy zasobów występuje istotnie rzadziej niż w pozostałych sektorach (silny związek między sektorem a metodą). Jednocześnie gotowość do użycia narzędzia automatyzującego jest w sektorze okrętowym wysoka, co sugeruje, że ewentualna bariera wdrożeniowa wynika raczej z utrwalonych praktyk niż z postaw użytkowników.

Postrzeżenie potencjalnych korzyści z ograniczenia działań manualnych pozostaje bardzo wysoka, choć nieco niższa niż w pozostałych sektorach, należy jednak zauważyć, że mimo iż różnica ta ma znaczenie statystyczne to trudno w niej doszukiwać się istotnego znaczenia praktycznego. Istotnym wnioskiem jest konieczność wzięcia pod uwagę rzeczywistej sytuacji w poszczególnych firmach sektora okrętowego i wszędzie tam, gdzie dominuje planowanie manualne, na przykład w arkuszach kalkulacyjnych, realizować proces wprowadzania nowej metodologii planowania w sposób etapowy, od stopniowego przejścia z pracy manualnej do pracy w macierzy zasobów (standaryzacja procedur i szablony), a następnie do elementów automatyzacji. Należy mieć jednak świadomość, że wnioski z pogłębionej analizy statystycznej nie przekładają się bezpośrednio na firmy z sektora okrętowego, które posiadają duże zbiory danych historycznych i które stosują w codziennej praktyce wprowadzanie zmian planów w macierzy zasobów.

8.3. BADANIE ZAWARTOŚCI BAZ DANYCH UŻYTKOWNIKÓW SYSTEMU WAYMAN

8.3.1. Opis badań

W niniejszym rozdziale omawiane są badania przeprowadzone na grupie firm projektowych stosujących system ERP Wayman jako podstawowe narzędzie wspierające planowanie, realizację, kontrolę i rozliczanie wielobranżowych projektów inżynierskich w różnych sektorach inżynierii. W toku prowadzonych wcześniej badań ankietowych wykazano, że obszarem o dużym potencjale do zwiększenia efektywności projektowania jest proces planowania pracy projektowej w wielobranżowych firmach inżynierskich [24].

W literaturze naukowej można znaleźć bardzo dużo artykułów naukowych mówiących zarówno o zasadności implementacji systemów ERP w firmach sektora konstrukcyjnego [142] licznych zyskach wynikających z poprawnie wdrożonych rozwiązań klasy ERP w firmach projektowych [143] oraz zmieniającej się roli i filozofii pracy firm projektowych w związku z wdrożeniem rozwiązań klasy ERP [144]. Szeroko opisane w literaturze są także kluczowe kwestie wpływające na sukces wdrożenia systemu ERP w firmach projektowych [145] i ich efektywne użycie w poszczególnych sektorach, jak na przykład w sektorze projektowania statków [146], jak i główne przyczyny porażek realizowanych w niewłaściwy sposób wdrożeń [147].

Dodatkowo tematyka wdrożeń systemów klasy ERP jest przedstawiana zarówno w kontekście dużych, międzynarodowych firm projektowo-konsultingowych [148] jak i firm projektowych należących do sektora małych i średnich przedsiębiorstw [149] i mniejszych, gotowych na implementację zupełnie podstawowych prostych rozwiązań ERP [150]. Systemy klasy ERP stają się na tyle powszechnymi rozwiązaniami w wielobranżowych firmach projektowych różnej wielkości, że są

one postrzegane jako narzędzia o dużym potencjalnie integracyjnym z powszechnie stosowanymi rozwiązaniami BIM (Building Information Modelling) [151].

Coraz większa powszechność zastosowań systemów klasy ERP w wielobranżowych firmach inżynierskich implikowała chęć dążenia do badań obszarów o największym potencjale na zwiększanie efektywności procesu projektowania, szczególnie w zakresie praktycznych metod planowania pracy projektowej. Badania polegały na pobraniu, zarchiwizowaniu, usunięciu danych wrażliwych i analizie 20 baz danych użytkowników systemu Wayman, w tym szczególnie przedstawicieli sektora projektowania statków.

8.3.2. Cel badań

Celem głównym badania, było przedstawienie skali skutków potencjalnych zaburzeń uniemożliwiających realizację oryginalnego planu realizacji projektów i implikujących konieczność wykonania zmian w planie, na konkretnych przykładach zidentyfikowanych w toku analizy zawartości baz danych systemu Wayman ERP wybranych firm inżynierskich używających co najmniej w podstawowym zakresie systemu Wayman ERP.

Obszarem zainteresowania było zbadanie wpływu zmian w projektach na budżet i termin realizacji zadań zdefiniowanych w systemie Wayman ERP. Aby osiągnąć ten cel, przeprowadzono szczegółową analizę danych pochodzących z systemu ERP, skupiając się na reakcjach na zmiany, modyfikacje i przesunięcia w projektach, a także ich wpływ na budżet i harmonogram projektów. Dodatkowym celem była weryfikacja zgodności danych zawartych w bazach danych użytkowników systemu Wayman z wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych badań ankietowych.

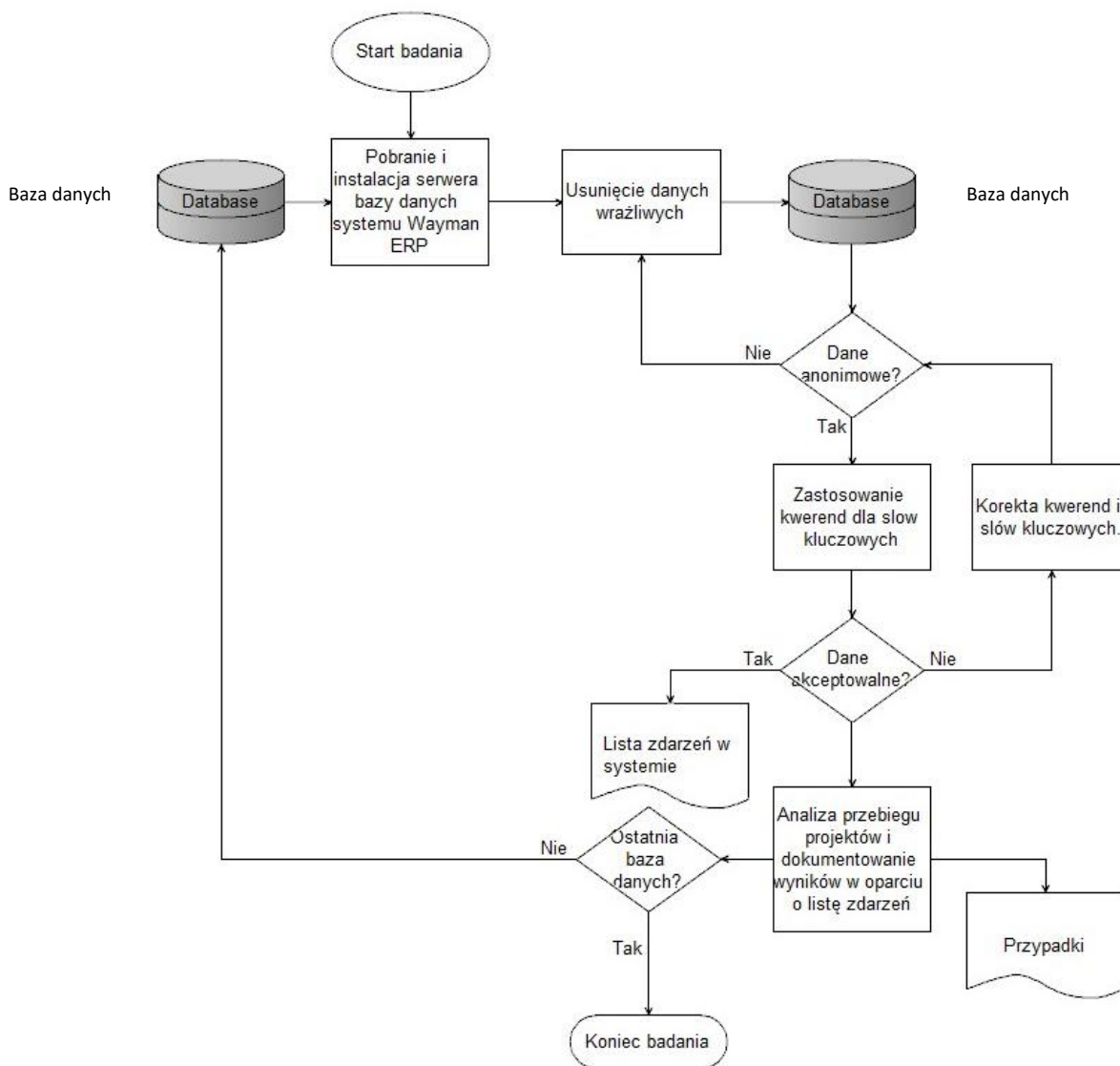
8.3.3. Metodologia

Badanie rozpoczęto od pobrania 20 baz danych użytkowników systemu Wayman ERP. W celu ochrony prywatności i poufności danych, przeprowadzono usunięcie danych wrażliwych. Nazwy firm zastąpiono skrótami od C01 do C20, nazwy pracowni skrócono, łącząc skrót firmy z dwucyfrowym numerem pracowni (np. C0101 dla pierwszej pracowni firmy C01), nazwiska pracowników skrócono do postaci zawierającej skrót firmy oraz trzycyfrowy numer identyfikacyjny (np. C0101001 dla pierwszego pracownika pracowni C0101 w firmie C01), a numery projektów przedstawiono w formie skróconej, łączącej skrót firmy z czterocyfrowym numerem projektu (np. C01P0001 dla pierwszego projektu w firmie C01).

Do każdej bazy danych zastosowano zapytania w formie kwerend, skupiając się na słowach kluczowych takich jak aneks, zmiana, wstrzymanie, nowych danych wejściowych, modyfikacja,

dodanie, usunięcie, rozszerzenie, ograniczenie, przemieszczenie, przesunięcie, poprawa. Pozwoliło to na wygenerowanie listy zapisów z systemu ERP, z których możliwa była identyfikacja przynależności do projektu, oraz daty wystąpienia. Następnie, na podstawie otrzymanej listy, dokonano ręcznej analizy przypadków, wybierając te, w których czas reakcji na zmianę i opracowanie nowego planu obciążenia zasobów spowodował przekroczenie budżetu lub terminu realizacji zadań.

Wybrane przypadki zostały szczegółowo opisane, z naciskiem na potencjalne oszczędności, które mogłyby zostać osiągnięte, gdyby zwłoka w opracowaniu alternatywnych rozwiązań nie wystąpiła. Analiza ta pozwoliła na identyfikację kluczowych czynników wpływających na efektywność zarządzania projektami oraz na opracowanie zaleceń mających na celu optymalizację procesów decyzyjnych w systemie ERP. Metodyka badań została przedstawiona na rysunku 8.



Rysunek 8: Schemat blokowy obrazujący metodykę analizy baz danych systemu Wayman ERP.

Analiza baz danych prowadzona była także w celu weryfikacji prawdziwości i zasadności tezy, w jej trakcie skoncentrowano się na porównaniu zapisów w systemie Wayman z odpowiedziami udzielonymi przez respondentów. System Wayman jako narzędzie dedykowane sektorowi inżynierii pozwala na definiowanie słowników zadań, stosowanie jednolitej numeracji zadań dla wszystkich projektów i przypisywanie zadań do odpowiednich grup, a także wykorzystywanie dowolnych atrybutów do grupowania i przetwarzania danych i informacji. Takie podejście w pewnym stopniu pozwala na zidentyfikowanie zadań realizowanych przez kadrę kierowniczą i godzin poświęcanych na manualne planowanie pracy projektowej oraz określenie udziału poniżej określonej pracochłonności w ogólnym obciążeniu zadaniami kadry kierowniczej.

Analiza zawartości słowników w poszukiwaniu zadań obejmujących czynności związane z planowaniem oraz wyszukiwanie w zbiorach ręcznie definiowanych czynności i uwagach do zadań słów kluczowych „plan”, „zmiana”, „rewizja”, „wersja”, „aktualizacja”, „modyfikacja”, „opóźnienie”, „opóźnień” pozwoliło na zidentyfikowanie obszarów danych związanych z czynnościami polegającymi na planowaniu, a w szczególności zmianach planów pracy projektowej inicjowanych zaburzeniami. Kolejnym sposobem analizy było wyodrębnienie użytkowników systemu Wayman z przypisanymi funkcjami kierowniczymi w tabeli użytkowników. Na podstawie tej cechy można było zidentyfikować użytkowników ze względu na ich rolę związaną z koniecznością ponoszenia odpowiedzialności za czynności planowania pracy zespołów projektowych (kierownicy pracowni projektowych, główni specjaliści, projektanci prowadzący branżowi) lub planowania realizacji prac w ramach poszczególnych projektów (kierownicy projektów).

Zazwyczaj zadania wykonywane przez ekspertów z grona średniego szczebla kierowniczego (kierowników działów, kierowników projektów, liderów dyscyplin, wiodących inżynierów), których można ogólnie sklasyfikować jako pracowników odpowiedzialnych na stałe lub tymczasowo za zespoły projektantów lub za zadania wykonywane przez grupę osób, są zadaniami ogólnymi. Jednak ręczna analiza księgi projektu i zapisów uwag do poszczególnych zadań pozwoliła określić przedziały czasu, w których realizowane są prace związane z planowaniem projektów, jednak są to często wartości zgrubne, szacunkowe, gdyż dyskusyjny jest stopień szczegółowości i rzetelności raportowania przez kierowników.

Powszechną praktyką jest to, że każdy pracownik jest zobowiązany do rejestrowania czasu i przydzielania godzin spędzonych na określonych zadaniach. Pozwala to zebrać informacje o tym, kto co robi, porównać plan z rzeczywistością i łatwo obliczyć koszt pracy. Pomimo faktu, że istnieją lokalne, krajowe lub korporacyjne standardy definiowania zadań, nie ma globalnej uniwersalnej polityki

definiowania zadań. Dlatego ważne jest, aby zweryfikować, do którego obiektu w każdej analizowanej bazie danych rejestrowany jest czas poświęcony na zarządzanie zasobami.

8.3.4. Wyniki badań – wybrane przykłady zdarzeń i ich konsekwencje

W toku badań nad konsekwencjami zwłoki w opracowaniu nowej wersji planu realizacji pracy projektowej, zidentyfikowano szczególnie interesujące przypadki w bazie danych firmy z sektora okrętowego. Były to dwa zdarzenia ogólnie i jedno szczegółowo opisane. Szczegółowo udokumentowane zdarzenie dotyczyło zmiany sposobu mocowania urządzeń na statku, które zostało zainicjowane wpisem w systemie Wayman ERP w dniu 12.06.2014 (czwartek) o godzinie 14:25 w firmie C04.

Zapis zmiany został zaewidencjonowany w uwagach do projektu numer C04P0057 przez pracownika o identyfikatorze C0402003 posiadającego w systemie Wayman ERP uprawnienia „Manager” (ten poziom uprawnień pozwala na dostęp do danych wszystkich projektów realizowanych w firmie. Dodatkowo pracownik o identyfikatorze C0402003 został wyszczególniony jako manager projektu C04P0057 z ramienia zarządu firmy. Uwaga dodana przez pracownika o identyfikatorze C0402003 brzmiała: *„Ustalono ze stoczną i armatorem zmianę sposobu montażu pomp i urządzeń. Dla instalacji innych niż paliwo, olej smarny, zeza zaolejona należy wydać welding bloki i śruby jako materiały masowe oraz 4 mb kątownika 150x150x10 dla każdego urządzenia, wykonać zbiorczy rysunek lokalizacji pomp w przestrzeniach technicznych i wskazać w uwagach: montaż wg sytuacji na statku. Z uwagi na brak zgodności przebiegów rurociągów z rysunkami koordynacyjnymi, króćce pomp ustawianych na fundamentach projektowanych wg modelu 3D mają zbyt dużą, niemożliwą do skompensowania w trakcie montażu, rozbieżność położenia w stosunku do kołnierzy rurociągów. Proszę o uwzględnienie zmiany i niezwłoczne wydanie dokumentu zbiorczego i listy materiałowej dla wszystkich fundamentów pomp. Sprawa pilna.”*

W bazie danych stwierdzono istnienie zadania zbiorczego realizowanego przez zespół pracowników etatowych firmy C04 oraz grupy podwykonawców z firmy zewnętrznej. Zadanie obejmowało wykonanie 80 fundamentów, uśredniono budżet godzinowy dla każdego fundamentu na 8 godzin co daje łącznie 640 godzin, przewidziano także 160 godzin na sprawdzanie dokumentacji. Zadanie zaplanowane zostało do realizacji w okresie od 09.06.2014 do 20.06.2014. Planowany termin zakończenia zadania przez zespół inżynierów określono na 18.06.2014 (czyli przed datą zakończenia zadania) zapewne w celu zapewnienia czasu na finalne sprawdzenie i kompletację dokumentacji.

W realizację zlecenia zaangażowani byli trzej pracownicy z pracowni C0406 o nazwie branżowej Pracownia Projektowania Siłowni Okrętowych, którym przydzielono wykonanie 24 fundamentów, oraz zespół inżynierów oddelegowanych przez podwykonawcę (Y), któremu delegowano wykonanie 56

fundamentów w okresie od 11.06.2014 do 18.06.2014. Na rysunku 9 pokazano pozyskany z repozytorium plików systemu Wayman ERP przykładowy rysunek fundamentu pompy zapisany w narzędziu służącym do zarządzania dokumentacją w dniu 10.06.2014 o godzinie 14:38 przez pracownika o identyfikatorze C0406008.

Na liście zadań w etapie o nazwie „C04P0057 Spis Dokumentacji Projektu Roboczego” widnieją dwa zadania dotyczące fundamentów pomp i urządzeń w siłowni są to zadanie numer 4440-2 o nazwie „Fundamenty pomp i urządzeń na pokładzie technicznym”, czyli zadanie założone 09.06.2014 obejmujące wszystkie fundamenty realizowane zasobami własnymi jak i przy wsparciu podwykonawców, oraz zadanie 4440-2-01 o nazwie „Fundamenty pomp i urządzeń technicznych na pokładzie technicznym – plan rozmieszczenia”, czyli zadanie utworzone przez pracownika o identyfikatorze C0406008, który był zaangażowany w realizację zadania 4440-2 i był przypisany do roli projektanta branżowego w projekcie C04P0057 z ramienia pracowni 06 o nazwie Pracownia Projektowania Siłowni Okrętowych jako prowadzący branżowy.

Działania pracownika C0406008 podjęte zostały niezwłocznie, samodzielnie zdefiniował on nowe zadanie polegające na wykonaniu planu rozmieszczenia fundamentów i podjął się jego realizacji poczynając od dnia 13.06.2014, co potwierdza analiza zapisów jego karty pracy.

W trakcie analizy zapisów karty pracy pracownika C0406008 pokazanych na rysunkach 10 i 11 potwierdzono, że niezwłocznie po otrzymaniu informacji o zmianie już w dniu 12.06.2014 zaraportował on rozpoczęcie pracy nad zmianą planu krótkoterminowego, widać także, że wystąpiło opóźnienie w realizacji tego zadania i zakończone ono zostało dopiero w niedzielę 15.06.2014. O ile jest to zgodne z generalnymi zasadami aktualizacji, które zakładają przygotowanie aktualnego planu krótkoterminowego nie później niż w dzień poprzedzający rozpoczęcie kolejnego tygodnia, jednak w tym konkretnym przypadku udało się w toku prowadzonej analizy wykryć opóźnienie wynikające na pewno z konieczności ręcznego aktualizowania planu oraz nakładającej się na to zadanie pilnej potrzeby realizacji zadania 4440-2-01 o nazwie „Plan rozmieszczenia fundamentów”.

Dzięki temu możliwe było przeprowadzenie głębszej analizy sprawozdawczości związanej z realizacją zadania, które przyniosła interesujące wnioski. Zapisy w logach systemu Wayman ERP dowodzą, że podjęte przez pracownika C0406008 prace związane z aktualizacją planu krótkoterminowego w dniu 12.06.2014 ograniczyły się de-facto do dodania nowego zadania. Jednocześnie dopiero w dniu 15.06.2014 dokonał on zmian w planie krótkoterminowym wydając dyspozycje zarówno podwykonawcom jak i własnym zasobom z pracowni 06.

Obraz przebiegu projektu w tych dniach, mimo dość dużego poziomu szczegółowości, jest jednak ograniczony i nie pozwala na udzielenie precyzyjnej odpowiedzi co do przyczyn przerwania aktualizacji

planu krótkoterminowego przez pracownika C0406008 w dniu 12.06.2014. analiza wcześniejszych zapisów alokacji godzin przez tego pracownika na zadaniu PM1 o nazwie „Cotygodniowa aktualizacja planu krótkoterminowego” dowodzi, że praca w znacznej ilości przypadków była realizowana w niedzielę, co może wskazywać, że była to powszechna praktyka dla tego managera. Można także domniemywać, że pracownik chciał pilnie podjąć się realizacji planu rozmieszczenia fundamentów w związku z otrzymaniem bezpośredniej dyspozycji od swojego przełożonego.

O ile co do przyczyn wystąpienia opóźnienia można tylko spekulować, to jego następstwa są dokładnie udokumentowane w systemie i policzalne. W pracowni 06 w dniach 12 i 13.04.2014 czyli w piątek i sobotę pracownicy o identyfikatorach C0406006 i C0406012 wykonali 4 rysunki fundamentów niezgodnie z przedstawionym w dniu 12.06.2014 w uwadze managera wymaganiem. Praca ta została wykonana na podstawie nadal obowiązującego oficjalnie, ale będącego już przedmiotem ręcznej aktualizacji planu krótkoterminowego.

została przez podwykonawcę faktura na kwotę 9 072 Euro, co odpowiada przemnożeniu 21 wykonanych fundamentów przez zabudżetowaną ilość 8 godzin na fundament i ustalonej w umowie z podwykonawcą stawki rozliczeniowego 52 Euro za godzinę.

Powyższy przykład obrazuje wyraźnie jak w pracujących pod dużym obciążeniem zespołach inżynierskich nawet najmniejsze opóźnienie w realizacji czynności związanych z aktualizacją planów realizacji projektu może przynieść znaczące straty i naruszyć zarówno rezerwę jak i poziom prognozowanej marży na pracach projektowych. Przykład posłużył jako zobrazowanie procesu analizy zawartości bazy danych. Nie we wszystkich bazach danych stwierdzono występowanie wystarczająco szczegółowych zapisów by możliwe było przeprowadzenie równie szczegółowych analiz, objętość niniejszego rozdziału nie pozwala także na szczegółowe opisanie każdego zbadanego przypadku, dlatego też ograniczono się do przywołania zestawienia zdarzeń opóźnienia aktualizacji planu realizacji projektu dla projektu realizowanego w dwóch średnich i jednej dużej firmie projektowej z branży okrętowej, które zostało ujęte w tabeli 8.

Id firmy	Opis zaburzenia	Opis skutków opóźnienia	Zwłoka	Strata	Uwagi
C04	Zmiana mocowania urządzeń na statku	Wykonanie przez podwykonawcę 21 zbędnych fundamentów	3 dni	9 072 Euro	Średnia
C09	Roszcza kolejności statków do przebudowy instalacji gazów spalinowych.	Brak terminowej realizacji inwentaryzacji skanerem laserowym, opóźnienie rozpoczęcia, konieczność zaangażowania podwykonawcy w USA, opóźnienie realizacji projektu o 10 dni, naliczenie kary umownej, dodatkowy koszt pracy w godzinach nadliczbowych.	5 dni	67 000 USD	Średnia
C14	Strajk związków zawodowych JHL w Finlandii	Brak decyzji o wstrzymaniu najmu licencji oprogramowania BIM w cyklach miesięcznych dla 230 użytkowników.	21 dni	220 800 Euro	Duża

Tabela 8: Zestawienie przyczyn i skutków opóźnień aktualizacji planu realizacji projektu.

W toku analizy zawartości baz danych w przypadku jednej firmy udało się zidentyfikować datę zmiany procedur dotyczących metod planowania pracy projektowej. Organizacja realizowała w tym samym czasie dużą liczbę projektów multi-dyscyplinarnych polegających na wykonaniu modyfikacji instalacji gazów spalinowych poprzez instalację urządzeń i systemów rurociągów służących do odsiarczania spalin w systemie otwartym. Projekty te według kierownictwa firmy były podobne pod względem zakresu i poziomu zakłóceń procesu projektowania.

Układ otwarty instalacji odsiarczania gazów spalinowych jest systemem oczyszczania spalin, który wykorzystuje wodę morską do neutralizacji i usuwania tlenków siarki (SO_x) z gazów wylotowych

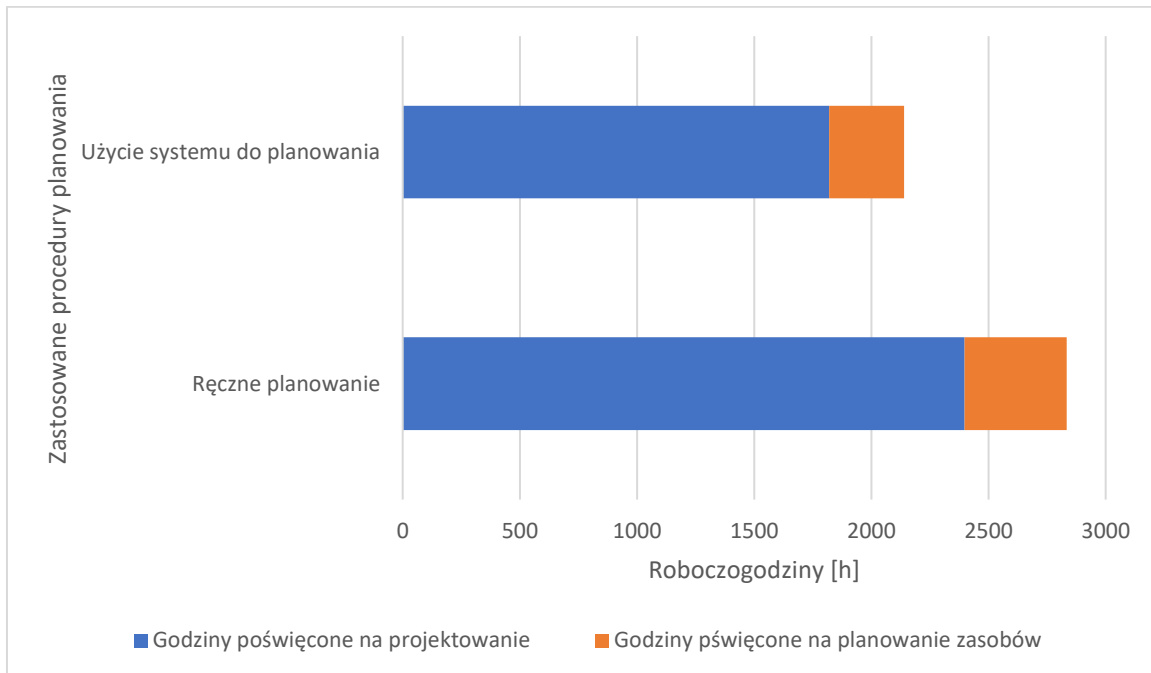
silników głównych, pomocniczych oraz kotłów. Woda morską, ze względu na swój naturalny zasadowy odczyn (alkaliczność), skutecznie rozpuszcza i neutralizuje kwasy powstałe podczas procesu spalania. Po oczyszczeniu spalin, woda ta jest odprowadzana z powrotem do morza. Na rysunku 12 przedstawiono wizualizację i model BIM omawianej instalacji na przykładzie jednego z wykonanych projektów pozyskaną z repozytorium systemu Wayman.



Rysunek 12: Model BIM instalacji odsiarczania gazów spalinowych na statku.

Przed wdrożeniem procedury planowania w systemie, czyli przy zastosowaniu planowania ręcznego w arkuszu kalkulacyjnym zużycie godzin na projekcie wynosiło 2834 godziny (2398 na projektowanie i 436 na zarządzanie), po wdrożeniu procedury planowania systemowego zużycie

wynosiło 2140 godzin (1820 na projektowanie i 320 na zarządzanie). Wyniki przedstawiono na wykresie 1.



Wykres 1: . Porównanie wykorzystania godzin przed i po wdrożeniu procedury planowania.

8.3.5. Dyskusja

Na podstawie przeprowadzonych analiz wynika, że opóźnienia w aktualizacji planów mają znaczący wpływ na koszty i terminowość realizacji projektów inżynierskich [152]. Pokazane powyżej przykłady wskazują, że nawet kilkudniowe opóźnienie w aktualizacji planów realizacji projektu może prowadzić do powstania znaczących strat. Przykłady z firm C04, C09 i C14 ilustrują, jak opóźnienia w reakcji na zmiany mogą prowadzić do niepotrzebnych prac, naruszenia terminów i znacznych strat finansowych. Nie może zatem dziwić dążenie do implementacji systemów ERP oraz próby rozwijania własnych narzędzi klasy ERP przez duże firmy projektowe w różnych sektorach inżynierii [153].

Bez względu jednak na to, jakie rozwiązania zostaną zaimplementowane w wielobranżowych firmach inżynierskich to efektywność ich użycia będzie przesądzała o finalnej przydatności narzędzi informatycznych [154]. Dyskusja podkreśla potrzebę szybkiej aktualizacji planów i efektywnej komunikacji w zespołach projektowych, by minimalizować ryzyko i zwiększać efektywność zarządzania projektami [155]. To stwarza pole dla rozwiązań, które pozwolą na choćby częściową automatyzację zadań związanych z modyfikacją planów realizacji projektów i zdjęcie z managerów obowiązku manualnego przygotowania danych niezbędnych do podjęcia racjonalnych decyzji zarządczych, które pozwolą między innymi na uwzględnienie i zaadresowanie związanych ze zmianami planów elementów ryzyka [55].

Uzyskane wyniki sugerują, że wdrożenie strategii zarządzania zmianą i automatyzacja działań ułatwiających podjęcie szybciej racjonalnych decyzji mogą znacznie poprawić rentowność i terminowość prac projektowych oraz zwiększyć efektywność pracy zespołów inżynierów.

Do podobnych wniosków dochodzą naukowcy i przedstawiciele sektora inżynierii także w innych krajach, na przykład w Niemczech [156]. Wskazują oni na ograniczenia i zagrożenia dla efektywności szeroko rozumianej digitalizacji wynikające z istnienia „wąskich gardeł” w postaci posiadających fizyczne ograniczenia ludzi. Do podobnych wniosków doszli także badacze Słowacy [79]. Wyniki przeprowadzonych badań sformułowane przez Hollistera i Watkina [46] pozwalają na stwierdzenie, że należy konsekwentnie identyfikować i adresować potrzeby osób odpowiedzialnych za podejmowanie racjonalnych decyzji w firmach inżynierskich w celu zapewnienia maksymalnie efektywnych działań i koncentracji inżynierów na właściwych zadaniach projektowych.

Przeprowadzone badania, pokazały, że w sektorze inżynierii mechanicznej zaburzenia procesu zarządzania zasobami, opóźnienie czynności związanych z modyfikacją planu, powoduje straty i zmniejszenie ilości czasu poświęcanego na efektywne projektowanie. Ma to bardzo negatywny wpływ zarówno na efektywność procesu projektowania, budżet projektu jak i jakość finalnego produktu.

8.3.6. Wnioski

Badania pozwalają wnioskować na temat kluczowej roli narzędzi wspomagających procesy decyzyjne w wielobranżowych firmach inżynierskich. Ujawniają one, że opóźnienia w aktualizacji planów projektowych mogą prowadzić do istotnych strat finansowych i operacyjnych. Wskazują na zasadność opracowania zaawansowanych narzędzi informatycznych, które pomagają managerom w efektywnym podejmowaniu decyzji. Podkreślają również potrzebę dalszych badań nad automatyzacją procesów decyzyjnych oraz wykrywaniem specyficznych potrzeb branżowych, co może znacząco przyczynić się do poprawy efektywności i rentowności projektów. Wynik badań w dużej mierze stanowią uzasadnienie dla istotności prowadzenia dalszego rozwoju systemów wspierających proces planowania prac projektowych, które integrują dane z różnych źródeł, umożliwiając precyzyjne i szybkie reagowanie na zmiany w środowisku projektowym.

8.4. ANALIZA DOSTĘPNYCH NA RYNKU ROZWIĄZAŃ SI

8.4.1. Cel badań

Można wyodrębnić trzy główne cele prowadzenia badań dostępnych na rynku rozwiązań SI:

- Pierwszym jest zidentyfikowanie możliwych do wdrożenia rozwiązań SI dostosowanych do specyfiki działalności wielobranżowych inżynierskich firm projektowych.

- Drugim jest przeanalizowanie oferty i rozwiązań dostawców oferujących modele sztucznej inteligencji oraz moc obliczeniową wspierającą integrację z systemem Wayman.
- Trzecim celem badań jest wyłonienie rozwiązania umożliwiającego efektywne wykorzystanie danych zgromadzonych w systemie Wayman do tworzenia nowych wariantów planów projektowych oraz przygotowywania zmian planu realizacji projektów w reakcji na zaburzenia i modyfikacje dotyczące procesu projektowania.

8.4.2. Metodologia

Pierwszym krokiem była analiza najnowszej literatury naukowej w zakresie publikacji dotyczących wykorzystania sztucznej inteligencji do zwiększania efektywności realizacji procesu projektowania [157] ze szczególnym uwzględnieniem planowania pracy projektowej [158]. Następnie dokonano przeglądu dostępnych na rynku rozwiązań SI oferowanych przez głównych dostawców technologicznych. Następnie zdefiniowano kryteria oceny rozwiązań oferowanych przez kluczowych dostawców, zostały one sformułowane w następujący sposób w tabeli 9.

Kryterium	Opis kryterium	Waga [%]	Uzasadnienie wagi
1	Zgodność z wymaganiami systemu Wayman: Możliwość integracji za pomocą API i dostęp do baz danych, popularność wśród użytkowników systemu Wayman.	30%	Integracja z systemem Wayman jest kluczowa, ponieważ narzędzie SI musi być łatwo adaptowalne i wykorzystywać istniejące dane.
2	Zgodność z potrzebami wielobranżowych firm inżynierskich: Możliwość obsługi złożonych projektów wielobranżowych.	20%	Firmy wielobranżowe działają na dużą skalę, dlatego zdolność do obsługi projektów interdyscyplinarnych jest kluczowa.
3	Elastyczność modeli SI: Zdolność do automatycznego generowania planów i reagowania na zmienne.	25%	Modele muszą reagować dynamicznie na zmiany projektowe i warunki rynkowe. To kluczowy element dla efektywności.
4	Koszty: Koszty licencji, infrastruktury obliczeniowej oraz integracji.	10%	Koszty są istotne, ale nie najważniejsze w kontekście strategicznych wdrożeń, które mogą przynieść duże korzyści finansowe w przyszłości.
5	Bezpieczeństwo danych: Ochrona poufnych danych projektowych.	15%	Bezpieczeństwo danych jest ważne, zwłaszcza w przypadku pracy z poufnymi informacjami projektowymi w przemyśle.

Tabela 9: Zestawienie kryteriów oceny rozwiązań oferowanych przez firmy technologiczne.

Przeprowadzono analizę porównawczą dla wybranych rozwiązań realizując ocenę wag przy użyciu metody eksperckiej pozyskując przy użyciu badań ankietowych opinie kluczowych osób zaangażowanych ze strony z firmy Wayman. Ankieta została przeprowadzona w firmie Wayman w zespole zaangażowanym w realizację projektu rozwoju funkcjonalności wykorzystujących zewnętrzne modele SI, dla każdego produktu każdy z ankietowanych miał możliwość przyznania od 1 do 5 punktów, w każdym kryterium maksymalna ilość punktów to 15.

Istotny wpływ na proces badawczy miało jego powiązanie z realizacją zadania wdrożeniowego polegającego na wykonaniu specyfikacji technicznej definiującej zakres danych eksportowanych z baz danych oraz sposób określenia zestawu projektów, etapów, faz projektów inżynierskich i zadań do eksportu. W tym zadaniu wdrożeniowym, na podstawie specyfikacji zespół programistów wykonał narzędzia pozwalające na ekstrakcję danych z środowisk baz danych użytkowników systemu Wayman ERP.

Szczegóły dotyczące opracowanych zagadnień wdrożeniowych są przedstawione w rozdziale 10 natomiast fakt wytworzenia funkcjonalności przez programistów pozwolił na wykonanie kroku badawczego polegającego na przygotowaniu kilku zestawów danych wstępnie w postaci zapisu danych z planu krótkoterminowego w formacie CSV z rzeczywistej bazy danych okrętowej firmy projektowej i użycie ich na wybranej w drodze badań zrealizowanych w tym etapie infrastrukturze SI zewnętrznego dostawcy.

W tym celu wybrano 3 projekty modernizacji instalacji spalinowych na statkach ujęte w formie zbiorczego obciążenia pracami projektowymi zespołu mechaników w burze projektowym. Wygenerowane dane, obejmujące stan zaburzony, w którym wystąpiło przeciążenie projektantów zadaniami, zostały przesłane w formacie CSV, do środowiska SI, które w odpowiedzi przekazało plik CSV zawierającą alternatywny plan realizacji prac projektowych. Plik został zaimportowany przy użyciu nowej funkcjonalności do środowiska systemu Wayman i zwizualizowany w module planu krótkoterminowego Wayman.

8.4.3. Wyniki

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 dla zdefiniowanych kryteriów nadając odpowiednie wagi. Wyniki przedstawiono poniżej w tabeli 10. Dla każdego kryterium i każdego produktu zestawiono informacje dostępne w literaturze i materiałach dostawców publikowanych w dokumentacji technicznej i na stronach internetowych w formie tekstowej jako element analizy porównawczej.

Kryt.	OpenAI	Google (Vertex AI)	Microsoft Azure AI	IBM Watson	AWS AI/ML
Kryt. 1	Wysoka zgodność z systemami wielobranżowymi dzięki łatwej integracji API.	Dobre wsparcie API, łatwa integracja z bazami danych.	Ścisła integracja z systemami ERP i narzędziami zarządzania projektami.	Wysoka zgodność z przemysłowymi systemami zarządzania projektami.	Łatwość integracji z systemami ERP.
	15 punktów 30%	3 punktów 6%	9 punktów 18%	9 punktów 18%	3 punktów 6%
Kryt. 2	Zaawansowana zdolność do generowania nowych wariantów planów projektowych.	Zaawansowane modele predykcyjne i możliwości uczenia maszynowego.	Wysoka elastyczność, dzięki bogatemu zestawowi usług AI.	Skupienie na analizie danych i automatyzacji procesów.	Rozbudowane narzędzia AI, w tym analiza danych i modele predykcyjne.
	12 punktów 16%	3 punktów 4%	12 punktów 16%	9 punktów 12%	9 punktów 12%
Kryt. 3	Bardzo wysoka, możliwość obsługi dużych zestawów danych.	Bardzo wysoka.	Możliwość elastycznego skalowania.	Ograniczona w porównaniu do innych dostawców.	Bardzo wysoka, możliwość dynamicznego dostosowywania mocy obliczeniowej.
	12 punktów 20%	9 punktów 15%	9 punktów 15%	9 punktów 15%	9 punktów 15%
Kryt. 4	Umiarkowane, zależne od liczby zapytań.	Relatywnie niskie koszty w porównaniu do konkurencji.	Elastyczny model subskrypcji.	Wysokie koszty wdrożenia.	Elastyczne, zależne od wykorzystania.
	12 punktów 8%	9 punktów 6%	6 4%	6 4%	3 2%
Kryt. 5	Spełnia standardy ochrony danych.	Silna ochrona danych, zgodność z przepisami.	Spełnia wysokie standardy bezpieczeństwa, w tym certyfikaty branżowe.	Bardzo wysoka ochrona danych.	Wysoki poziom bezpieczeństwa.
	9 punktów 9%	9 punktów 9%	12 punktów 12%	15 punktów 15%	9 punktów 9%
Suma wag:	83%	40%	65%	64%	44%

Tabela 10: Zestawienie tabelaryczne wyników porównania produktów w kontekście zdefiniowanych kryteriów.

Wynik badań ankietowych przeprowadzonych w gronie kluczowych interesariuszy projektu w firmie Wayman wskazuje na rozwiązanie firmy OpenAI. Analiza treści z analizy porównawczej danych technicznych i informacji od dostawców wskazuje na zbliżony poziom funkcjonalności rozwiązań, można przypuszczać, że na wyniki ankiety w firmie Wayman miały wpływ osobiste doświadczenia pracowników i współpraca pomiędzy Wayman i OpenAI.

Na opisywanym etapie badań wykonano dodatkowy krok badawczy polegający na zasileniu udostępnionego przez zewnętrznego dostawcę SI modelu zbiorem danych zwizualizowanych w planie krótkoterminowym w sposób pokazany na rysunku 13 i rysunku 14. Moduł „*plan krótkoterminowy*” systemu Wayman służy do wizualizacji obciążenia zbiorczego, każdego pracownika zadaniami przypisanymi mu do realizacji ze wszystkich projektów, w których bierze on udział. Każdy wiersz w tabeli pokazanej na rysunku 13 odpowiada jednemu pracownikowi, dla którego po prawej stronie rysunku, w strefie ukazującej oś czasu, miesiące, tygodnie i dni ukazane jest sumaryczne obciążenie godzinami w poszczególnych dniach. Kolorem czerwonym pokazane są przeciążenia, kolorem zielonym niedociążenia, a kolorem czarnym obciążenia równe dostępnej dla danego pracownika i wynikającej z wymiaru etatu ilości godzin w danym dniu. Obciążenie zbiorcze jest wynikiem sumy obciążeń godzinowych z wielu zadań przypisanych do tego samego pracownika w tym samym czasie na realizowanych równoległe projektach.

Projekt	Zadanie / % obciążenie w	Nazwa	Typ	2 2025																											
				2506							2507							2508							2509						
				6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28					
3T																															
Adamczyk Sebastian	46 %			4	4			4	4	4	4	4			4	4	4	4	4				4	4	4	4	4				
Ambroziak-Sulej Małgorzata	7 %			1	1			1	1	1	1	1			1	1	1	1	1				1	1	1	1	1				
Bielka Paweł	49 %			4	4			4	4	4	4	4			4	4	4	4	4				4	4	4	3	3				
Błaszczak Mateusz	34 %			3	3			3	3	3	3	3			3	3	3	3	3				3	3	3	3	3				
Brzezińska Marlena	71 %			6	6			6	6	6	6	6			6	6	6	6	6				6	6	6	6	6				
Gadomska Monika	71 %			6	6			6	6	6	6	6			6	6	6	6	6				6	6	6	6	6				
Iskra Kamil	38 %			3	3			3	3	3	3	3			3	3	3	3	3				3	3	3	3	3				
Kłosiński Jarosław	0 %			0	0			0	0	0	0	0			0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				
Knobelsdorf Beata	23 %			2	2			2	2	2	2	2			2	2	2	2	2				2	2	2	2	2				
Peciakowska Agnieszka	0 %			0	0			0	0	0	0	0			0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				
Piecki Cezary	247 %			20	20			20	20	20	20	20			20	20	20	20	20				20	20	20	20	20				
Popławski Piotr	263 %			21	21			21	21	21	21	21			21	21	21	21	21				21	21	21	21	21				
Puda Weronika	46 %			4	4			4	4	4	4	4			4	4	4	4	4				4	4	4	4	4				
Ratkowski Krzysztof	256 %			21	21			21	21	21	21	21			21	21	21	21	21				21	21	21	20	20				
Stanisz Małwina	132 %			11	11			11	11	11	11	11			11	11	11	11	11				11	11	11	11	11				
Suwardt Piotr	46 %			4	4			4	4	4	4	4			4	4	4	4	4				4	4	4	4	4				
Szyszko Jarosław	217 %			17	17			17	17	17	17	17			17	17	17	17	17				17	17	17	17	17				
Waldoch Filip	0 %			0	0			0	0	0	0	0			0	0	0	0	0				0	0	0	0	0				
Wojtasiewicz Jakub	26 %			4	4			4	4	4	4	4			1	1	1	1	1				1	1	1	1	1				
Zwiercz Adam	88 %			7	7			7	7	7	7	7			7	7	7	7	7				7	7	7	6	6				

Rysunek 13: Plan krótkoterminowy w ujęciu zbiorczym.

W module „*plan krótkoterminowy*” rozwinięcie wiersza zbiorczego dla projektanta powoduje uwidocznienie w niższym stopniu drzewa widok na wszystkie zadania przydzielone projektantowi na wszystkich projektach, pokazano to na rysunku 14. Każde zadanie jest jednoznacznie określone w poszczególnych kolumnach wartościami atrybutów, należą do nich:

- identyfikator przynależności do projektu,
- numer zadania,

prac projektowych. Na wstępnym etapie badawczym założono, że można wyodrębnić dwa zestawy danych definiujące sytuację na projekcie przed i po wykonaniu ręcznej modyfikacji planu realizacji projektu. Pierwszy zestaw tworzą dane odzwierciedlające plan krótkoterminowy i zawierające zapisy z bazy danych na dzień, w którym historycznie plan krótkoterminowy został zmodyfikowany przez człowieka i przedstawiają racjonalny obraz planu realizacji projektów oraz drugi zestaw danych opisujących plan na dzień, w którym wystąpiły zaburzenia i przeciążenia przed podjęciem działań manualnych przez człowieka. Dane te mogą zostać użyte jako zbiory danych uczących i walidujących.

Dodatkowo przykłady stanu pożądanego i stanu niewłaściwego i mogą zasilić przygotowane przez eksperta z zakresu sztucznej inteligencji modele dostarczone przez zewnętrznego dostawcę. Przygotowanie odpowiedniego modelu było zadaniem poza zakresem prac badawczych, w tym zakresie użyto gotowego rozwiązania dostarczonego przez OpenAI, praca badawcza koncertowała się na przygotowaniu danych wejściowych i analizie wyników, czyli zagadnieniach wymagających wiedzy z obszaru dyscypliny inżynieria mechaniczna. Wspomniane działania mają krytyczne znaczenie dla skuteczności nowego rozwiązania gdyż zasilanie modeli udostępnionych przez OpenAI bez przeprowadzenia procesu przygotowania danych uczących i walidujących oraz dodatkowych danych skutkowało całkowicie nieakceptowalnymi w kontekście poprawy efektywności i zgodności z metodologią prac projektowych odpowiedziami modelu SI.

Dane zostały zapisane w formacie CSV w układzie odzwierciedlającym sytuację przedstawioną w planie krótkoterminowym. Dane zostały zapisane w tabeli, w której 13 pierwszych kolumn zawierało dane identyfikujące zadania, a kolumny rozpoczynające się od kolumny 14 zawierały ilości godzin zaplanowane na poszczególne dni, nagłówek kolumny zawierał datę jednoznacznie identyfikującą dany dzień. Opis wartości przedstawionych w poszczególnych kolumnach tabeli przedstawiono w tabeli 11.

Nr.	Nazwa atrybutu	Opis atrybutu i format danych
1	Pracownia	Definicja pracowni w postaci dwuznakowego skrótu, string np.: 3T
2	Pracownik	String imię i nazwisko pracownika np. Piotr Bilon
3	Projekt	Opis projektu, string składający się z połączenia numeru projektu, nazwy projektu i skrótu etapu projektu rozdzielonych znakiem „-”
4	Zadanie	Numer zadania, string, ciąg znaków identyfikujący zadanie
5	Nazwa	Nazwa zadania jest to string zawierający wartość atrybutu nazwa zadani definiowaną przez użytkownika systemu ręcznie, może to być na przykład „Plan ogólny” lub „Instalacja balastowa”.
6	Status	Wartość słownikowa opisująca jeden z dostępnych statusów systemowych dla zadania. Możliwe wartości to: brak statusu – zadanie nierozpoczęte, wykonywane, do sprawdzenia, zakończone, wykonywana zmiana, zakończone, wstępnie zakończone, wstrzymane

7	Udział	Wartość % określająca stosunek ilości godzin przyznanych pracownikowi do całkowitego budżetu zadania. Wartość numeryczna zawarta w przedziale od 0 do 1.
8	Limit	Wartość numeryczna Integer, opisująca ilość godzin przydzieloną pracownikowi w celu realizacji zadania.
9	Data rozpoczęcia	Data rozpoczęcia realizacji zadania przez pracownika zapisana w formacie DD.MM.YYYY
10	Data zakończenia	Data zakończenia realizacji zadania przez pracownika zapisana w formacie DD.MM.YYYY
11	Planowana data rozpoczęcia zadania	Data zakończenia realizacji zadania ujęta w harmonogramie realizacji projektu zapisana w formacie DD.MM.YYYY
12	Planowana data zakończenia zadania	Data zakończenia realizacji zadania ujęta w harmonogramie realizacji projektu zapisana w formacie DD.MM.YYYY
13	Data dnia w planie	Integer, ilość godzin przypadająca na realizację zadania w danym dniu, wyrażano jako cyfra.
14	Data dnia w planie	Integer, ilość godzin przypadająca na realizację zadania w danym dniu, wyrażano jako cyfra.
15	Data dnia w planie	Integer, ilość godzin przypadająca na realizację zadania w danym dniu, wyrażano jako cyfra.

Tabela 11: Opis kolumn w pliku xlsz zawierającym dane z planu krótkoterminowego służące jako wsad do modelu SI przygotowanego przez zewnętrznego dostawcę.

Założenia przekazane na etapie wstępnym do dostawcy modelu SI sprowadzały się do poniżej opisanych priorytetów. Celem działania modelu miała być zmiana planu w taki sposób, aby żaden z projektantów nie był obciążony bardziej niż 8 godzin dziennie bez zmiany terminów realizacji zadań. Funkcją celu była minimalizacja opóźnień i równoważne obciążenie projektantów.

Dostawca modelu SI wskazał, że dane wejściowe w postaci tabelarycznej eksportowanej bezpośrednio z systemu Wayman, zapisane w zakresie kluczowych atrybutów jako wartości typu „string” (w tłumaczeniu z angielskiego jest to łańcuch znaków, typ danych w informatyce, który reprezentuje sekwencję znaków np. liter, cyfr, symboli, spacji), mimo, że czytelne dla człowieka, powodują znaczne pogorszenie jakości danych wejściowych.

8.4.4. Dyskusja

Sztuczna inteligencja jest obszarem, w którym obecnie dochodzi do niezwykle dynamicznego rozwoju [110]. Międzynarodowe korporacje prowadzą prace i wprowadzają na rynek nowe produkty i rozwiązania. Od początku realizacji pracy badawczej przyjęto podejście praktyczne, interdyscyplinarne i ukierunkowane na wytworzenie nowych narzędzi w ramach działań wdrożeniowych. Od początku także zakładano stosowanie gotowych i dostępnych na rynku rozwiązań, rozważając wstępnie narzędzie IBM Watson.

W trakcie trwania przewodu doktorskiego od 2021 do 2025 pojawiło się bardzo dużo nowych rozwiązań, ofertowanych przez różne firmy, wiele z nich znalazło swoje stałe zastosowanie w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych [159]. W 2024 roku dzięki aplikacji ChatGPT firma OpenAI wysunęła się na pozycję lidera oferującego powszechnie stosowane narzędzie udostępniające rezultaty działania modeli SI i moc obliczeniową. W środowisku wielobranżowych inżynierskich firm projektowych zauważalne jest zarówno zainteresowanie nowymi rozwiązaniami jak i zwiększona akceptacja dla sztucznej inteligencji jako narzędzia wspierającego pracę inżynierów [160].

Realizując doktorat wdrożeniowy poza osiągnięciem nowych wyników badań naukowych ważne jest także opracowanie nowych narzędzi i rozwiązań gotowych do zastosowania w przemyśle. Skupienie się na istniejących narzędziach oferowanych przez dostawców SI oraz mocy obliczeniowej pozwala na szybkie przejście od fazy badawczej do fazy praktycznego wdrożenia i umożliwia zarówno na skalowalność rozwiązania jak i jego łatwą adaptację przez firmy inżynierskie nie posiadające doświadczenia, wiedzy, wykwalifikowanego personelu i zasobów finansowych do tworzenia i utrzymywania własnych rozwiązań SI. Swoboda wyboru dostawcy modelu SI daje możliwość elastycznego zarządzania kosztami użycia modeli SI, które nie stają się redukcującym marżę kosztem stałym w wielobranżowej firmie projektowej.

Najistotniejszy w niniejszej pracy jest obszar inżynierii mechanicznej, dogłębna znajomość istoty projektowania, w szczególności w sektorze projektowania statków, jest niezbędną do przeprowadzenia analizy i przygotowania danych. Wnioskowanie na podstawie wyników, ocena rezultatów pracy algorytmów także nie są możliwe bez kompetencji i wiedzy z zakresu inżynierii mechanicznej. Jednocześnie dobór modeli sztucznej inteligencji to zadanie wymagające wiedzy z zakresu informatyki, uczenia maszynowego i matematyki. Decyzja o wykorzystaniu narzędzi SI dostępnych na rynku pozwala na skoncentrowaniu się na najważniejszej części projektu, integracji i wykorzystaniu modeli sztucznej inteligencji w kontekście inżynierii mechanicznej ogólnie i szczegółowo w procesie projektowania w celu zwiększenia efektywności procesu planowania prac projektowych, a pośrednio także procesu projektowania.

Dodatkową zaletą użycia gotowych narzędzi SI z perspektywy wdrożenia jest o wiele łatwiejsza skalowalność opracowywanych w trakcie doktoratu wdrożeniowego rozwiązań. Już na etapie opracowania wersji testowych nowe rozwiązania pracowały na rzeczywistych danych użytkowników systemu Wayman. Wybór istniejącego rozwiązania wyeliminował ryzyko wdrożenia projektu związanego ze sztuczną inteligencją, które mogłoby wystąpić w sytuacji, w której w toku badań podjęto by wyzwanie budowy własnych modeli od podstaw. W doktoracie wdrożeniowym celem nie jest opracowanie nowego algorytmu sztucznej inteligencji, lecz jego efektywne wykorzystanie do

zwiększenia efektywności procesu planowania pracy projektowej i pośrednio procesu projektowania co jest konkretnie zdefiniowanym problemem w przemyśle. Skupienie się na dostosowaniu i integracji modeli pozwala na szybkie uzyskanie wyników i maksymalizację korzyści wdrożeniowych.

Zaprezentowane podejście do realizacji doktoratu wdrożeniowego wpisuje się w filozofię efektywnego łączenia różnych narzędzi i technologii w celu rozwiązania problemu [161]. Dodatkowo opracowane w ramach doktoratu wdrożeniowego narzędzia będą bardziej dostępne dla użytkowników systemu Wayman, którzy nie muszą posiadać zaawansowanej wiedzy z zakresu sztucznej inteligencji co zwiększa potencjał jego adaptacji w przemyśle.

Współczesny przemysł, szczególnie w obszarze sztucznej inteligencji, charakteryzuje się szybkim tempem zmian technologicznych [162]. Adaptacja istniejących technologii jest kluczowa dla utrzymania konkurencyjności w przemyśle. Zamiast próbować konkurować z ekspertami z dziedziny uczenia maszynowego, wykorzystujemy ich dorobek i koncentrujemy się na jego praktycznym zastosowaniu w inżynierii mechanicznej.

W zakresie przeprowadzonego kroku badawczego zasilono w ramach pierwszego testu inicjującego funkcjonalność zewnętrzny model SI wybranego dostawcy suchymi danymi zapisanymi jako string. Zwrócony przez model SI rezultat dowodzi, że dane tekstowe w postaci string powodują szereg problemów dla modeli SI, są one niejednoznacznie interpretowane, nie ma możliwości ich porównania, ilości godzin nie są prawidłowo rozpoznawane, więc nie mogą być w konsekwencji przydzielane, brak rozpoznania dat powoduje brak możliwości sprawdzenia czy zadania mieszczą się w określonych terminach. To istotna informacja pozwalająca wyciągnąć wnioski odnośnie racjonalnego sposobu formatowania danych wejściowych do modelu SI, oraz konieczności wytworzenia narzędzia gwarantującego wprowadzenie wartościowych i kompletnych danych do modelu SI.

8.4.5. Wnioski

Analiza dostępnych na rynku rozwiązań sztucznej inteligencji została przeprowadzona w celu identyfikacji dostawców technologii, którzy oferują modele SI i infrastrukturę obliczeniową odpowiednią do zastosowania w wielobranżowych firmach projektowych używających systemu Wayman i uzasadnienie wyboru rozwiązania, które zostało finalnie zastosowane w dalszej realizacji prac badawczych i wdrożeniowych. Docelowe narzędzie zostało wybrane, pomimo obiektywnych trudności wskazania rozwiązania, które posiada na tyle znaczące przewagi, że mogłyby one zostać uznane za preferowane z powodu istnienia istotnych przewag technologicznych lub cech produktu.

Biorąc pod uwagę parametry techniczne dostępnych rozwiązań, użytkownik nie posiadający specjalistycznej wiedzy informatycznej oraz doświadczenia w stosowaniu rozwiązań SI może dojść do

wniosku, że rozwiązana poddane analizie można uznać za porównywalne. Podjęcie decyzji w oparciu tylko o parametry techniczne może dodatkowo komplikować bardzo szybki rozwój narzędzi SI. Należy jednak podkreślić, że z perspektywy wdrożeniowej sukcesem przeprowadzonej analizy jest jednak fakt dokonania wyboru rozwiązania i potwierdzenie, że kryterium decydującym były uzyskanie wyniki badań ankietowych.

To potwierdza, że koncepcja realizacji pracy wdrożeniowej i zastosowania rozwiązania opartego na API, które będzie służyło do zasilania danymi modelu sztucznej inteligencji udostępnionej przez zewnętrznego dostawcę, idealnie wpisuje się w rzeczywistość funkcjonowania firm projektowych, w których kwestia wyboru konkretnego rozwiązania pozostaje sprawą drugorzędną i w docelowej fazie wdrożeniowej w poszczególnych firmach o wyborze dostawcy rozwiązania sztucznej inteligencji będą decydowały prawdopodobnie przesłanki i argumenty biznesowe. Tym samym rozwiązanie oparte na API będzie dawało docelowym użytkownikom szerszy wachlarz możliwości i nie będzie stanowiło bariery wdrożeniowej i wyzwania w zakresie decyzyjnym.

W toku realizowanych badań i prac wdrożeniowych wybrano rozwiązanie API firmy OpenAI. Które zdobyło w toku badań ankietowych prowadzonych w firmie Wayman 84% możliwych punktów. Pomimo wyboru dostawcy istotne jest, aby w toku prac wdrożeniowych pamiętać, że w opracowane w toku prac wdrożeniowych rozwiązania mogą być w łatwy sposób dostosowane do współpracy z produktami innych dostawców w zależności od preferencji użytkowników końcowych systemu Wayman, między innymi wskazanymi w tabeli 10.

Wnioski z wstępnego użycia zewnętrznego modelu SI do przygotowania wariantu planu na danych zapisanych w pliku sprowadzają się do konkluzji, że kluczowe jest przygotowanie danych, które powinny być spójne, łatwe do porównania i w których kluczowe parametry powinny spełniać następujące kryteria:

- Liczba godzin pracy powinna być liczbą całkowitą lub zmiennoprzecinkową
- Daty – muszą być rozpoznane jako obiekty daty w programie
- Udział procentowy – powinny być konwertowane do wartości liczby zmiennoprzecinkowej z przedziału od 0 do 1 włącznie.

Ręczne opisy zadań zapisane jako string nie powinny stanowić danych wejściowych do modelu SI, zamiast tego ręcznie utworzone zadania, nawet jeśli opisane są różnymi numerami i różnymi nazwami powinny być zakwalifikowane do tego samego rodzaju zadań przy pomocy dodatkowych atrybutów. Dla przykładu zadania typu: „*Plan ogólny*”, „*Plan generalny*”, „*General Arrangement*” stanowią co do zawartości identyczny dokument i udostępnienie jako zbioru danych uczących informacji o historycznej

alokacji godzinowej na zadaniach tego samego typu będzie istotne dla zapewnienia zadowalających wyników działania modelu SI.

Ostatecznym wnioskiem z tego kroku badawczego jest konieczność przygotowania narzędzi pozwalających na segmentację (rozumianą jako podział zbioru danych na mniejsze, jednorodne części (segmenty), które ułatwiają efektywne trenowanie, testowanie i wykorzystanie modelu) i klasyfikację danych wejściowych, szczególnie w odniesieniu do zadań utworzonych w procesie projektowym ręcznie. W kolejnych krokach konieczne będzie przygotowanie specyfikacji i wykonanie stosownych narzędzi do wsparcia procesu segmentacji i klasyfikacji danych.

8.5. PRZYGOTOWANIE NARZĘDZI BADAWCZYCH PROCESU SEGMENTACJI DANYCH

8.5.1. Wprowadzenie kontekstowe

Wnioski z poprzedniego etapu badań jednoznacznie wskazują na istotność procesu przygotowania danych dla zewnętrznego modelu SI [125]. Do przygotowania danych niezbędne są kompetencje z zakresu inżynierii mechanicznej, doświadczenie w realizacji procesu projektowego, w szczególności w branży okrętowej oraz specyfiki realizacji zadań projektowych przez inżynierów poczynając od możliwości określenia parametrów zadania na poszczególnych etapach realizacji prac projektowych, aż po rolę standaryzacji, budowę i architekturę słowników typowych czynności inżynierskich w wielobranżowej inżynierskiej firmie projektowej.

Budowę słowników i harmonogramów opartych na zakładanych normach tworzenia WBS realizują w wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych inżynierowie, zajmujący średnie stanowiska kierownicze. Kierownicy projektów, kierownicy pracowni projektowych, wiodący projektanci branżowi. W trakcie realizacji niniejszego doktoratu wdrożeniowym wkładem własnym doktoranta jest między innymi przygotowanie specyfikacji technicznej i funkcjonalnej nowych narzędzi informatycznych pozwalających na prawidłowe przygotowanie danych.

Realizowanym równolegle zadaniem wdrożeniowym jest opracowanie listy atrybutów oraz formatu pliku CSV służącego do zasilania modeli SI udostępnionych przez zewnętrznego dostawcę danymi pochodzącymi z baz danych użytkowników systemu Wayman, czyli z baz danych wielobranżowych firm projektowych. Kolejnymi zadaniami wdrożeniowymi było przeprowadzenie testów i wypracowanie rozwiązania uwzględniającego wyniki testów w postaci finalnej, nowej funkcjonalności opartej na SI w systemie Wayman. Wykonaniem nowej funkcjonalności w systemie Wayman zajął się zespół programistów w firmie Wayman, rolą doktoranta na tym etapie było opracowanie założeń i specyfikacji technicznej oraz prowadzenie działań wymagających znajomości zagadnień związanych z inżynierią mechaniczną, projektowaniem i planowaniem, takich jak interpretacja wyników, analiza i przygotowanie danych. Ten zakres pracy jest szerzej opisany w rozdziale 10, dotyczącym zadań wdrożeniowych.

Koncepcja przeprowadzenia prac badawczych dotyczących przygotowania danych wynika w naturalny sposób z tematyki pracy, której celem jest weryfikacja hipotezy, że zastosowanie SI w celu zwiększenia efektywności realizacji procesów zachodzących w wielobranżowych firmach projektowych jest zasadne. Wychodząc z założenia, że proces przygotowania danych jest zadaniem dla inżyniera mechanika, można skonkludować, że zasady segmentacji mogą zostać sformułowane i ujęte w ramach algorytmu działań także przez inżyniera mechanika. To z kolei prowadzi do wniosku, że w sytuacji w

której inżynierowie muszą wykonywać czynności powtarzalne w ramach procesu segmentacji i klasyfikacji danych, model SI powinien być w stanie wykonać tę samą czynność w sposób szybszy i bardziej efektywny [125].

Ponadto należy uwzględnić niezwykle istotną dla zagadnień związanych z inżynierią i projektowaniem kwestę odpowiedzialności za rezultaty segmentacji i klasyfikacji, która spoczywa w firmach projektowych na kadrze kierowniczej. Powyższe obserwacje prowadzą do wniosku, że w specyficznym środowisku firm inżynierskich proces segmentacji danych jest niezbadanym obszarem w zakresie zwiększania jego efektywności przy użyciu narzędzi opartych na SI.

Stojąc przed koniecznością przygotowania zestawów danych wsadowych do modelu SI i mając świadomość wymagań wynikających z wdrożeniowego charakteru niniejszego doktoratu zdecydowano się na przeprowadzenie badań porównawczych metody ręcznej segmentacji danych i automatycznej segmentacji danych przy użyciu modelu SI. W tym celu niezbędne było przygotowanie narzędzi badawczych. Modułu usprawniającego ręczną segmentację i proces kwalifikowania danych oraz modułu realizującego te same czynności przy użyciu narzędzi opartych o model SI. Rolą doktoranta było przygotowanie specyfikacji technicznej obu rozwiązań i współpraca z zespołem programistów i ekspertów SI podczas tworzenia, testów i odbioru narzędzi badawczych.

W ramach wprowadzenia kontekstowego poniżej przedstawiono charakterystyczną dla wielobranżowych firm inżynierskich architekturę USD (Uniwersalnych Słowników Działań) na przykładzie okrętowej, wielobranżowej firmy projektowej używającej systemu Wayman do wsparcia realizacji procesu projektowania.

Budowa słowników działań jest w niektórych krajach i sektorach inżynierii objęta standaryzacją. W Polsce funkcjonowały w tym obszarze normy zakładowe, były one jednak opracowane w celu wprowadzenia ogólnych normatywów pracochłonności i ujednolicenia składni używanej w procesie projektowania. W erze digitalizacji firmy projektowe mogą w dowolny sposób budować składnie, nazewnictwo i systemy numeracji zadań projektowych oraz poszczególnych dokumentów. W systemie Wayman słowniki uniwersalnych działań są ściśle powiązane z metodologią realizacji prac projektowych. Projekt statku jest podzielony na typowe fazy, dla sektora okrętowego są to:

- projekt koncepcyjny,
- projekt kontraktowy,
- projekt techniczno-klasyfikacyjny,
- projekt wykonawczy (roboczy/warsztatowy),
- dokumentacja zdawcza.

Czynności podejmowane przez projektantów statków podzielone są na klasy i grupy. W niektórych sektorach inżynierii stosowane są także podgrupy. Taki układ pozwala na usystematyzowanie i ujednoczenie projektów dając szereg zysków zarówno w obszarze budowy zbiorów danych statystycznych, ujednoczenia komunikacji jak i standaryzacji dokumentacji w całym sektorze okrętowym, co pozwala na bardzo łatwe organizowanie kooperacji, procesów zakupów i dostaw. W tabeli 12 przedstawiono przykładowe zestawienie klas i grup stosowane w wielobranżowych inżynierskich firmach projektowych w sektorze okrętowym.

Klasa – numer i nazwa	Numer grupy	Opis grupy
Klasa 0 - Teoria okrętu	00	Grupa ogólna klasy 0
	01	Kształt kadłuba i rozplanowanie przestrzenne
	02	Hydrodynamika i badania modelowe
	03	Masy i środki mas
	04	Hydrostatyka i stateczność
	05	Wytrzymałość, drgania i hałasy
	06	Zestawienie materiałów
	07	Uzgodnienia technologiczne i konstrukcyjne
	08	Próby i badania statku
	09	Kalkulacje, analizy ekonomiczne, kontrakty
Klasa 1 – Kadłub	10	Grupa ogólna klasy 1
	11	Dno statku
	12	Grodzie i przegrody
	13	Poszycie
	14	Konstrukcja pokładów
	15	Konstrukcja rufy
	16	Konstrukcja dziobu
	17	Nadbudowy
	18	Różne elementy kadłuba
	19	Zbrojenia kadłuba
Klasa 2 – wyposażenie pokładowe	20	Grupa ogólna klasy 2
	21	Urządzenia sterowe
	22	Urządzenia ładunkowe
	23	Urządzenia kotwiczne, cumownicze i holownicze
	24	Pływające urządzenia robocze i ratownicze
	25	Urządzenia komunikacyjne zewnętrzne
	26	Zamknięcia ładowni
	27	Zamknięcia otworów wraz z zejściami
	28	Różne wyposażenie pokładowe
	29	Pokrycia pokładów zewnętrznych
Klasa 3 – wnętrza	30	Grupa ogólna klasa 3
	31	Izolacja i szalowanie pomieszczeń
	32	Izolacja i szalowanie siłowni
	33	Wykładziny podłóg i ścian
	34	Drzwi i okna
	35	Wyposażenie pomieszczeń mieszkalnych, służbowych, gospodarczych, sanitarnych i miejsc dowodzenia
	36	Wyposażenie pomieszczeń przewietrzanych

	37	Wyposażenie magazynów ogólnookrętowych i warsztatów poza siłownią
	38	Szalowanie i wyposażenie ładowni niechłodzonych
	39	Powłoki ochronne
Klasa 4 – Mechanizmy	40	Grupa ogólna klasa 4
	41	Linia wałów
	42	Napęd główny
	43	Wytwornice pary oraz przewody spalinowe
	44	Zespoły prądotwórcze
	45	Mechanizmy i urządzenia
	46	Pomieszczenia
	48	Podłogi i gretingi siłowni
	49	Urządzenia podnośne, sterowanie i elementy różne w siłowni
	Klasa 5 – Instalacje rurociągowo	50
51		Rurociągi siłowni
52		Rurociągi zęzowe, balastowe, transportu paliwa i ładunku płynnego
53		Rurociągi kadłuba
54		Instalacje napędowe urządzeń poza siłownią
55		Instalacje gaśnicze
56		Instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne
57		Instalacje sanitarne i CO
58		Rurociągi specjalne zbiorników
59		Rurociągi i instalacje specjalne
Klasa 6 – wyposażenie i urządzenia elektryczne	60	Grupa ogólna klasa 6
	61	Instalacje siłowe i urządzenia rozdzielcze
	62	Instalacja oświetleniowa
	63	Instalacja sygnalizacji
	64	Instalacje urządzeń łączności
	65	Instalacje radio i elektro nawigacyjne
	66	Instalacje urządzeń specjalnych
	67	Automatyka
	68	Tory kablowe, rozmieszczenie i zamocowanie urządzeń
	69	Kable i przewody
Klasa 7 – instalacje specjalne	70	Grupa ogólna klasa 7
	71	Urządzenia rybackie
	72	Urządzenia przetwórcze statków rybackich
	73	Urządzenia chłodnicze
	74	Izolacje pomieszczeń chłodzonych i zbiorników ładunkowych
	75	Instalacja pomieszczeń chłodzonych i zbiorników ładunkowych
	76	Urządzenia statków specjalistycznych
	77	Pompownie
	78	Laboratoria statków
	79	Napędy manewrowe i urządzenia stabilizacyjne
Klasa 8 – uzbrojenie	80	Grupa ogólna klasa 8
	88	Hermetyzacja statku i opracowania filtrowentylacyjne i związane z nimi urządzenia pomiarowe

Klasa 9 – Inwentarze i części zapasowe	90	Grupa ogólna klasa 9
	91	Inwentarz standardowy
	92	Części zapasowe standardowe
	93	Inwentarz dodatkowy
	94	Części zapasowe dodatkowe
	95	Rozmieszczenie i zamocowanie inwentarza
	96	Rozmieszczenie i zamocowanie części zapasowych

Tabela 12: Zestawienie klas i grup działań i dokumentacji stosowane w sektorze okrętowym.

Uniwersalne spisy działań/dokumentacji (USD) tworzone są w celu zdefiniowania standardów czynności przynależnych do poszczególnych klas i grup w każdym etapie projektowania. Panel definicji elementu USD przedstawiony na rysunku 15 pozwala na zdefiniowanie kluczowych parametrów zadania. Szczegółowy opis parametrów (atrybutów) definiowanych przez inżyniera odpowiedzialnego za budowę standardów, przedstawiony jest w tabeli 13.

Podczas definicji elementu USD dla każdego nowego zadania tworzony jest identyfikator systemowy, specyficzny i unikalny dla danego typu zadania należącego do USD. Dzięki unikalnemu identyfikatorowi można łączyć zadania o dowolnych wartościach kluczowych parametrów w zbiory zadań merytorycznie identycznych, opisanych innymi numerami i nazwami. Przykładem tego typu zadań może być „*Plan Ogólny*” i „*Plan Generalny*”, mimo tego, że oba dokumenty są opisane inną nazwą i mogą być oznaczone innym numerem to są one co do zawartości merytorycznej i przekazu jaki niosą identyczne. Powinny zatem przynależać tego samego elementu USD, czyli powinny posiadać ten sam unikalny identyfikator systemowy.

Podstawowym źródłem zadań w projektach, których źródłem nie jest USD są zadania zakładane ręcznie przez projektantów, zadania importowane z zewnętrznych systemów, np. narzędzi do zarządzania projektami jak MsProject lub arkusze kalkulacyjne. Z uwagi na to, że do opisu identyfikujących zadania elementów są w Wayman stosowane zmienne typu string dane pozyskiwane w ten sposób są niskiej jakości z punktu widzenia potrzeb modeli SI i do przygotowania spójnych i wysokiej jakości danych niezbędne jest przypisanie każdego zadania do odpowiedniego elementu w USD poprzez użycie właściwego identyfikatora. W związku z tym, że proces segmentacji i kwalifikacji zadań będzie sam w sobie przedmiotem badań, podjęto decyzję o przygotowaniu specjalistycznych narzędzi.

Zadanie QA

Nr zadania 1: 000-1 Edytuj

Nr zadania 2:

Nazwa 1: Koordynacja projektu (uzgodnienia z klientem/amatorem i podwykonawcami)

Nazwa 2:

Pracownia: Developm.

Klasa: Dokumentacja teoretyczna

Grupa: 00 - Grupa ogólna kl. 0

Podgrupa:

Grupa SFI:

Limit zadania: 50 h Udział procentowy: 0,00 %

Rozpoczęcia zadania w: 10 dniu etapu

Czas realizacji zadania: 8 dni

Ilość:

Wytyczne:

Branża: Główny Projektant

Kamień milowy:

Rysunek 15: Formularz definicji zadania jako elementu USD w systemie Wayman.

Atrybut	Opis atrybutu
Nr zadania 1	Numer identyfikujący jednoznacznie przynależność do etapu projektowania, klasy, grupy oraz identyfikujący w ten sposób każdy dokumenty każde działanie na wszystkich projektach w firmie w celu ujednoczenia numeracji. Elementem wyróżniającym i dodatkowym w stosunku do numeru opisanego w USD jest przedrostek zawierający numer projektu.
Nr zadania 2	Dodatkowe pole pozwalające na użycie równoległe dodatkowego numeru, na przykład w sytuacji, w której firma projektowa zmuszona jest posługiwać się numerami klienta, lub numerami w których występując litery obcego alfabetu, na przykład w sytuacji gdy statek budowany jest za granicą. Jest to zmienna typu string.
Nazwa 1	Słowny opis zadania, czynności lub dokumentu stanowiącego część USD. Jest to zmienna typu string.
Nazwa 2	Dodatkowe pole umożliwiające dodanie alternatywnej nazwy, na przykład w języku obcym, gdy dokumentacja jest dwujęzyczna.
Pracownia	Zmienna stanowi element słownika listy pracowni w wielobranżowej firmie projektowej, w sektorze okrętowym jest to zazwyczaj pracownia branżowa.
Klasa	Wartość tego atrybutu pochodzi ze słownika klas opisanego w tabeli 12 i podczytuje się automatycznie po wybraniu grupy.
Grupa	Element słownika grup przedstawionego w tabeli 12, wybierany jest z listy.
Podgrupa	Dodatkowy element słownika, pozwalający na pogłębioną standaryzację, w przemyśle okrętowym nie jest on stosowany.
Grupa SFI	Element słownika grup utworzonych na podstawie SFI w celu klasyfikacji zadań zgodnie z normami SFI. Może on być stosowany równoległe do branżowego USD jeśli zajdzie taka potrzeba np.: wymaganie klienta.
Limit zadania	Atrybut to Integer, określa typowy limit godzin dla zadania danego typu określony na podstawie doświadczenia, statystyki, przekonania inżyniera budującego USD. Jest to parametr opcjonalny.

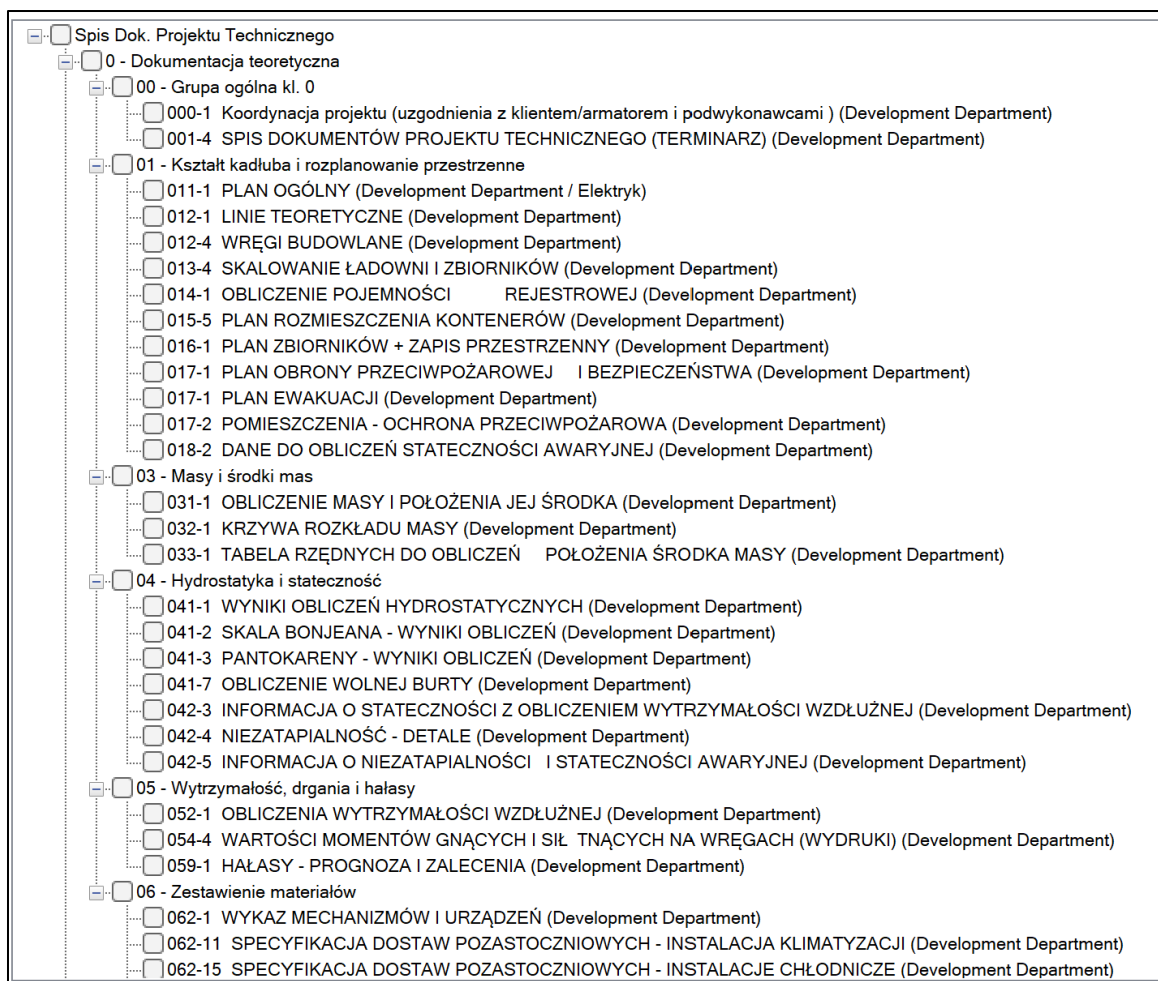
Udział procentowy	Atrybut to liczba zmiennoprzecinkowa. Określa udział procentowy budżetu zadania w budżecie etapu. Na przykład można założyć, że zbiorczo na czynności sprawdzające na projekcie poświęcamy 20% czasu, a na pracę głównego projektanta i koordynatora 10% czasu.
Rozpoczęcie zadania w dniu etapu	Wartość atrybutu to Integer, Określa ona ilość dni poczynając od początku etapu do dnia planowanego rozpoczęcia realizacji zadania w harmonogramie.
Czas realizacji zadania	Atrybut typu integer. Określa on ilość dni jakie są przewidziane od daty planowanego rozpoczęcia zadania w harmonogramie do daty planowanego zakończenia realizacji zadania.
Ilość	Atrybut to liczba zmiennoprzecinkowa określa ilość powiązanych z realizacją zadania parametrów dodatkowych. Atrybut ten może na przykład służyć do określenia odległości obiektu liniowego który jest projektowany. W sektorze okrętowym atrybut nie jest używany.
Jednostka miary/wagi	Wartość atrybutu pochodzi ze słownika jednostek miar i wag, w sektorze okrętowym nie jest to atrybut stosowany.
Wytyczne	Jest to pole opisowe pozwalające zawrzeć w opisie typowe wymagania metodologiczne, jakościowe lub uniwersalne oczekiwania co do zawartości dokumentacji opracowywanej w ramach zadania.
Branża	Atrybut pochodzi ze słownika branż zdefiniowanego w systemie Wayman. W sektorze okrętowym występują pracownie branżowe więc atrybut nie jest stosowany.
Kamień milowy	Atrybut w postaci check box, może przyjmować wartość 0 lub 1. Służy do określenia zadania jako kamień milowy

Tabela 13: Zestawienie atrybutów opisujących zadania – elementy USD.

8.5.2. Wymagania funkcjonalne dla narzędzia do ręcznej segmentacji danych

Narzędzie do ręcznej segmentacji danych i klasyfikacji zadań jest kluczowym komponentem w procesie przygotowania wysokiej jakości danych wejściowych do modeli SI. Ma ono umożliwić inżynierom mechanikom oraz kadrze kierowniczej w wielobranżowych firmach inżynierskich, takich jak firmy projektowe sektora okrętowego, efektywne realizowanie zadania segmentacją danych, klasyfikacją zadań oraz ich organizacją zgodnie z przyjętymi standardami i strukturami USD (Uniwersalnych Słowników Działań).

Można wskazać 5 wspólnych elementów dla zadania i elementu USD: przynależność do etapu projektu, numer zadania, nazwa zadania, pracownia odpowiedzialna za realizację zadania, grupa, do której przypisane jest zadanie.



Rysunek 16: Rozwinięcie USD dla etapu projektu klasyfikacyjnego w sektorze okrętowym.

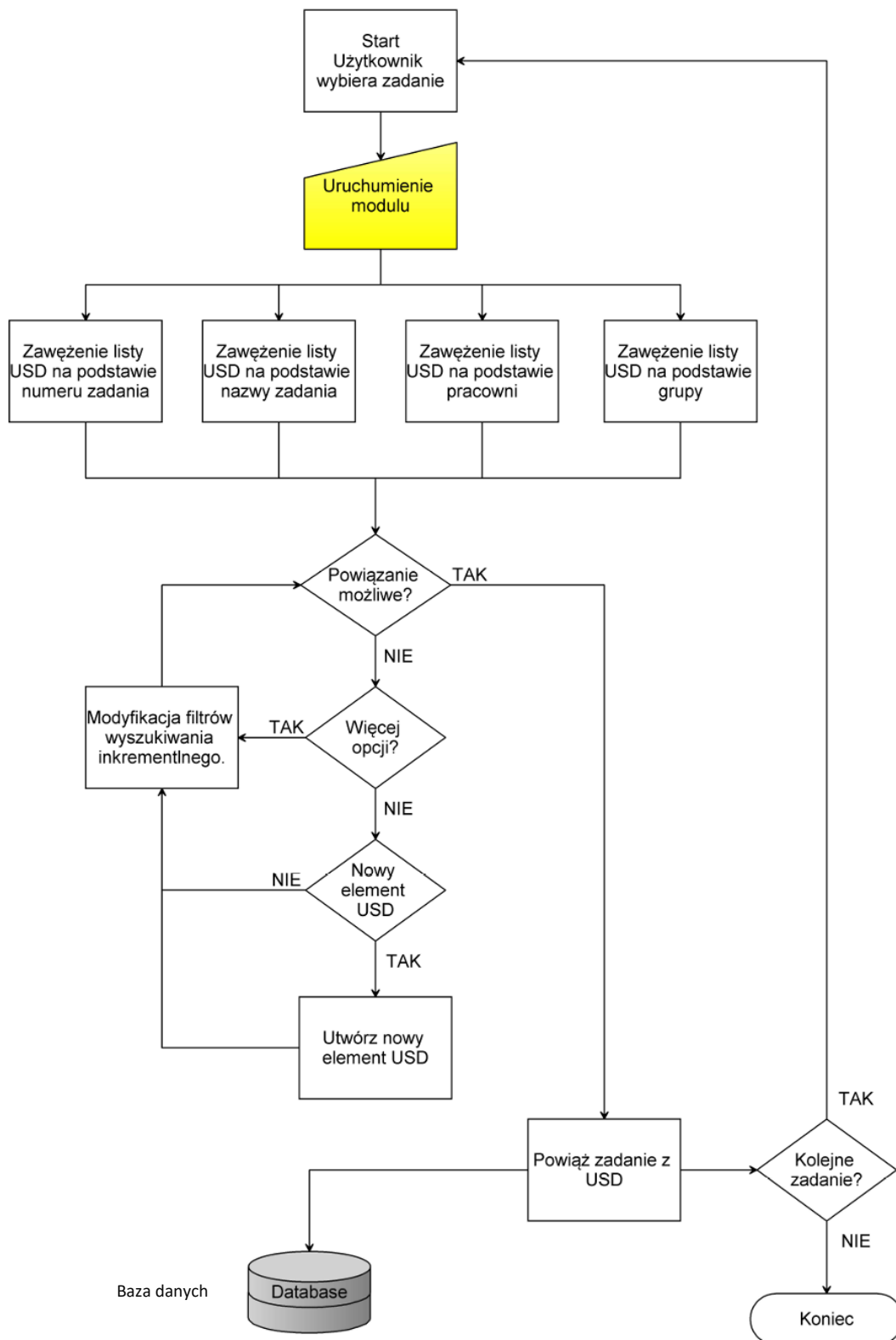
Ze wskazanych powyżej elementów tylko numer zadania, nazwa zadania i przynależność do pracowni są obligatoryjne w systemie Wayman, pozostałe są opcjonalne, nie można jednak założyć, że jakiegokolwiek elementy zadań utworzonych ręcznie są zgodne z zasadami określonymi przez słowniki UDS, lub że są prawidłowe. Mimo powyższego stwierdzenia wartości elementów wspólnych zdefiniowane przez inżynierów w ręcznie definiowanych zadaniach mogą służyć do zwiększania efektywności ręcznej segmentacji i klasyfikacji zadań w procesie wiązania ręcznie utworzonych zadań z USD.

Struktura USD dla wielobranżowej firmy okrętowej jest skomplikowana i rozbudowana, na rysunku 16 uwidocznił fragment w pełni rozwiniętego słownika USD dla okrętowej firmy projektowej. Pokazana na rysunku lista obejmuje tylko zbiór zadań dla etapu projektu techniczno-klasyfikacyjnego i zawiera 407 pozycji. Jest to ilość trudna do wizualizacji i obsługi. Tym samym pierwszym wymogiem funkcjonalnym jest możliwość zawężania możliwości wyboru opcji z USD na podstawie numeru zadania, nazwy, pracowni i/lub grupy zdefiniowanej w ręcznie utworzonym zadaniu. W tym celu moduł powinien posiadać możliwość interaktywnego wyszukiwania inkrementalnego dla każdego elementu łączącego zadania z USD dzięki czemu użytkownik będzie otrzymywał zawsze zawężoną listę

potencjalnych zadań w USD pasujących do przeznaczonego do powiązania z USD zadania. Powiązanie zadania z USD powinno odbywać się w sposób prosty, a w przypadku braku możliwości powiązania zadania z USD powinna istnieć możliwość utworzenia nowego zapisu w USD. Schemat ideowy funkcjonalności modułu wiążącego ręcznie utworzone zadania przedstawiono na rysunku 17.

W momencie powiązania zadania z USD przez użytkownika następuje zapis w bazie danych pozwalający na zakwalifikowanie ręcznie utworzonego zadania do zbioru zawierającego merytorycznie takie same zadania, ale opisane innym numerem lub nazwą. W momencie powiązania ręcznie utworzonego zadania zmienia się numer grupy na identyczny z istniejącym zadaniem w USD. Pozostałe parametry zadania nie ulegają zmianie.

Kolejnym wymaganiem funkcjonalnym jest możliwość pomiaru czasu poświęcanego przez projektantów na manualną segmentację i klasyfikację zadań oraz powiązanie z USD. W celu pomiaru i rejestracji czasu manualnej segmentacji mogą być zastosowane funkcje Wayman dostępne w powszechnie stosowanej wersji aplikacji.



Rysunek 17: Schemat ideowy funkcjonalności modułu wiążącego ręcznie utworzone zadania z USD.

Istotne jest aby nowe narzędzie badawcze umożliwiała prostą sprawozdawczość pozwalającą na pokazanie rezultatów badań i kluczowych metryk, ilość zadań dodanych przez użytkownika w czasie,

porównanie ilości dla różnych użytkowników, zbieranie opinii użytkowników, czas szkolenia użytkowników, ilość nowych pozycji dodanych do USD. To uprości realizację badań i ograniczy konieczność eksportu i porównywania zawartości tabel w bazie danych.

8.5.3. Wymaganie нефunkcjonalne dla narzędzia do ręcznej segmentacji danych

Narzędzie zostało przygotowane w celu prowadzenia badań w środowisku użytkowników systemu Wayman, rozwiązanie zostało zaimplementowane jako integralna część systemu Wayman. Moduł może obsługiwać duże zbiory danych (>10000) bez istotnej zwłoki. Interfejs użytkownika został zaprojektowany jako intuicyjny i dostosowany do potrzeb inżynierów mechaników oraz kierowników projektów. Uruchomienie modułu następuje z menu podręcznego dostępnego dla każdego zadania po naciśnięciu prawego klawisza myszki.

Zaproponowane wymagania funkcjonalne mają na celu zapewnienie efektywnego i zgodnego ze standardami procesu segmentacji i klasyfikacji danych w środowisku wielobranżowych firm inżynierskich. Wymagania te wiążą się ściśle z zagwarantowaniem ochrony danych projektowych zgodnie z przyjętymi standardami bezpieczeństwa i polityką firm obowiązujących w środowisku firm projektowych.

8.5.4. Wymagania funkcjonalne dla modułu segmentacji zadań przy użyciu SI

Moduł segmentacji został przygotowany we współpracy z zespołem programistów firmy Wayman. Umożliwia on przeprowadzenie badań porównawczych procesu segmentacji i klasyfikacji ręcznie utworzonych zadań poprzez powiązanie ich z Uniwersalnym Spisem Działań (USD) w programie Wayman. Narzędzie było potencjalną alternatywą dla ręcznego procesu segmentacji i klasyfikacji zadań dzięki funkcjonalności automatyzacji szczegółowo zaprojektowanego i opisanego w specyfikacji technicznej przez doktoranta procesu. Zakładano, że dzięki temu zwiększy się efektywność przetwarzania danych wejściowych do modeli SI oraz poprawi ich jakość i spójność.

Działając zgodnie z wnioskami z uprzednio przeprowadzonych badań, doktorant zasugerował zespołowi programistów uproszczoną koncepcję architektury modułu, która składała się z trzech głównych bloków: danych, przetwarzania danych i warstwy wyników. Propozycja doktoranta wynikała zarówno z przewidywań i wniosków z wcześniejszych badań wskazujących na łatwość skalowalności i dostępność biznesową gotowych rozwiązań jak i spójność koncepcji z założeniami leżącymi u podstaw postawionej w niniejszej pracy hipotezy.

Dodatkowo rozważając aspekty związane z wymaganiami funkcjonalnymi dla modułu segmentacji i klasyfikacji zadań przy użyciu modelu SI należy wziąć pod uwagę praktyczne aspekty użycia systemu Wayman w firmach projektowych. W większości wielobranżowych firm projektowych obecnie system

Wayman jest rozwiązaniem typu on-premises, lub rozwiązaniem hybrydowym, w którym tylko interfejs użytkownika jest dostępny w przeglądarce internetowej. Baza danych MySQL jest zainstalowana na lokalnym serwerze firmy projektowej, wewnątrz sieci LAN co zapewnia wysoki poziom bezpieczeństwa danych wrażliwych. Z uwagi na to, że dane pobierane z bazy danych Wayman będą zawsze obejmowały dla poszczególnych etapów projektów tylko zadania założone ręcznie przez użytkowników, nie posiadające identyfikatora łączącego je z USD, dla zapewnienia największej wydajności można przygotować widoki danych z których tworzone będą pliki CSV zawierające dane ręcznie utworzonych zadań.

Dane następnie przekazywane do modelu SI udostępnianego przez zewnętrznego dostawcę przy pomocy serwisu pośredniczącego przygotowanego przez programistów Wayman w języku C# i wykorzystującego OpenAI API do zasilania danymi modelu SI. Wynikiem działania modułu są zaktualizowane wpisy w bazie danych Wayman obejmujące przypisanie ręczne utworzonych zadań do odpowiednich elementów USD. Dostępne są także raporty wynikowe. Przedstawiona powyżej koncepcja stanowiła specyfikację techniczną dla zespołu programistów.

Aspekty techniczne oraz rozwiązania informatyczne wykonania narzędzia badawczego nie stanowiły przedmiotu pracy naukowej, gdyż badania dotyczyły porównania efektywności procesu segmentacji danych realizowanego ręcznie przez użytkownika przy wsparciu systemu Wayman, oraz całkowicie automatycznie, bez udziału użytkownika przy pomocy modelu SI. Przeprowadzone badania zostały opisane szczegółowo w rozdziale książki „Inżynieria Zarządzania Cyfryzacja Produkcji” [163] w rozdziale pod tytułem „Zarządzanie projektami produkcyjnymi i usługowymi - Praktyczne zastosowanie SI do automatyzacji tworzenia zbiorów inżynierskich danych statystycznych”.

8.6. FAZA EKSPERYMENTALNA I (SEGMENTACJA DANYCH)

8.6.1. Wstęp

W ramach badań nad automatyzacją zarządzania zadaniami projektowymi w firmach inżynierskich opracowano narzędzie oparte na sztucznej inteligencji (SI) mające na celu efektywnie łączyć ręcznie utworzone zadania z odpowiednimi elementami słowników znormalizowanych czynności projektowych [101] oraz narzędzie umożliwiającym wykonanie tych czynności ręcznie. Celem eksperymentu było porównanie efektywności oraz skuteczności, łatwości użycia i stopnia akceptacji obu metod przez użytkowników. Badanie to pozwoliło na ocenę, w jakim stopniu rozwiązania oparte na SI mogą poprawić efektywność i precyzję w zarządzaniu projektami w porównaniu z tradycyjnymi, manualnymi metodami pracy.

8.6.2. Metodyka

Badania przeprowadzono na dwóch dziesięcioosobowych grupach użytkowników systemu Wayman. Uczestnicy badania zostali przeszkoleni w zakresie korzystania zarówno z narzędzia opartego na SI, jak i z narzędzia manualnego, aby zapewnić, że wszyscy mają równy poziom wiedzy i umiejętności niezbędnych do ich obsługi. Następnie rozpoczęła się faza testów, w której uczestnicy zostali podzieleni na dwie grupy, z których każda korzystała z jednego z narzędzi do realizacji serii zadań projektowych. Zadania te były zaprojektowane tak, aby odzwierciedlały typowe scenariusze i wyzwania występujące w rzeczywistych projektach inżynierskich. Podczas fazy testowej zbierano dane dotyczące czasu potrzebnego na ukończenie poszczególnych zadań, liczby błędów popełnionych przez użytkowników oraz ich subiektywne odczucia co do łatwości użycia i satysfakcji z obu metod. Ostatni etap polegał na analizie zebranych danych, porównaniu efektywności i użyteczności obu metod oraz ocenie, która z nich lepiej spełnia oczekiwania użytkowników w kontekście zarządzania projektami inżynierskimi [93]. Do analizy danych zastosowano analizę jakościową opinii użytkowników zebranych za pomocą ankiet i wywiadów, co pozwoliło na głębsze zrozumienie preferencji i doświadczeń uczestników.

8.6.3. Wyniki

Badanie miało na celu nie tylko ocenę techniczną narzędzi, ale również zrozumienie, w jaki sposób innowacyjne rozwiązania oparte na SI mogą być przyjmowane przez użytkowników. Wyniki badań mają kluczowe znaczenie dla dalszego rozwoju narzędzi wspierających zarządzanie projektami i podkreślają obszary, w których technologie SI mogą przynieść największe korzyści. W ramach badania przeprowadzonego na użytkownikach systemu Wayman dokonano podziału na dwie grupy, aby zbadać efektywność wprowadzenia narzędzia SI do łączenia zadań ręcznie definiowanych w ramach WBS z uniwersalnymi słownikami znormalizowanych działań. Grupa pierwsza korzystała z narzędzia do manualnego połączenia zadań z USD, natomiast grupa druga wykorzystywała inne, opracowane przez programistów narzędzie oparte na sztucznej inteligencji. W tabeli 14 zestawiono wyniki, kluczowe parametry i spostrzeżenia, natomiast na wykresie 2 pokazano średnie wartości mierzonych parametrów.

W toku analizy jakościowej opinii użytkowników, zebranych za pomocą ankiet i wywiadów, zauważono znaczące różnice w czasie adaptacji do obu metod. Użytkownicy narzędzia opartego na SI doświadczali dłuższego czasu wdrożenia, co mogło wynikać z kilku czynników.

Po pierwsze, złożoność i nowość rozwiązania SI mogła wymagać od użytkowników dodatkowego czasu na zrozumienie i nauczenie się efektywnego korzystania z systemu. Po drugie, analiza rezultatów pracy narzędzia opartego na SI mogła być bardziej czasochłonna ze względu na potrzebę weryfikacji i

potencjalnej korekty wygenerowanych połączeń, co sugeruje wyższy poziom zaangażowania w analizę i ocenę pracy systemu.

Dla porównania, użytkownicy korzystający z manualnego rozwiązania, mimo potencjalnie większej prędkości początkowej, mogli sprawniej realizować zadania, polegając na bezpośredniej kontroli procesu i braku potrzeby adaptacji do nowego narzędzia. Wyniki te sugerują, że pomimo potencjalnych zalet automatyzacji i zastosowania SI istotne jest uwzględnienie krzywej uczenia się użytkowników oraz wpływu nowych technologii na efektywność pracy i czas potrzebny na adaptację do nowych rozwiązań.

Kryterium	Metoda manualna	Metoda SI	Obserwacje
Czas reakcji	Krótszy po szkoleniu	Dłuższy, szczególnie na etapie wdrożenia	Krzywa uczenia dla rozwiązania SI
Liczba błędów	Niskie, ale wymaga dużej uwagi użytkownika i koncentracji	Podobna, część błędów wynika z weryfikacji	Różnice nie są duże
Łatwość użycia (ocena subiektywna)	Wysoka – intuicyjna kontrola	Niższa – postrzegana jako złożona i pozostająca poza kontrolą	Obawa użytkowników przed błędami popełnionymi przez model SI
Satysfakcja użytkowników	Wyższa – kontrola i pewność	Zróżnicowana, zależna od zaufania	Potrzeba weryfikacji wyników w grupie stosującej rozwiązanie oparte na SI

Tabela 14: Zestawienie wyników dla kluczowych parametrów i wniosków jakościowych

W rozszerzonej analizie wyników badań nad wprowadzeniem narzędzia opartego na sztucznej inteligencji do zarządzania zadaniami projektowymi w firmach inżynierskich szczególną uwagę zwrócono na przyczyny niechęci użytkowników do korzystania z tego nowatorskiego rozwiązania. Chociaż SI oferuje znaczące możliwości automatyzacji i efektywności, zaobserwowano opór wśród niektórych użytkowników, który można przypisać kilku kluczowym czynnikom.

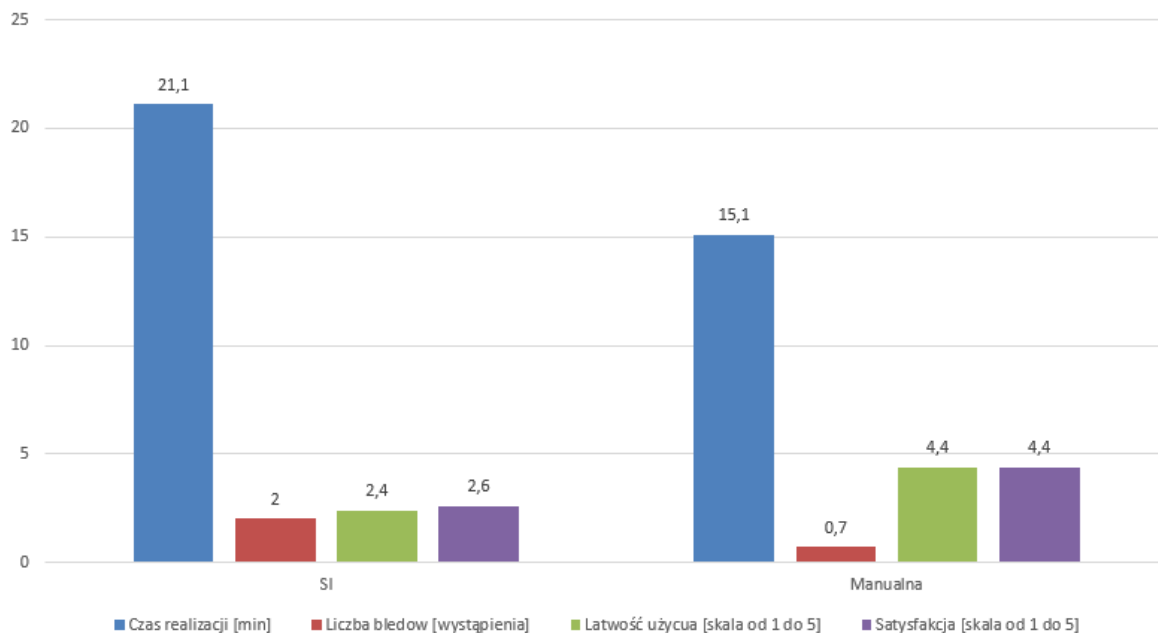
Czynnikiem wysuwającym się przed resztą jest obawa przed złożonością narzędzia SI. Użytkownicy mogą czuć się przytłoczeni nowością i techniczną złożonością systemu, co prowadzi do poczucia niepewności i lęku przed potencjalnymi błędami w jego obsłudze. Takie odczucia mogą być nasilone przez brak bezpośredniej kontroli nad procesem klasyfikacji i alokacji zadań, co stanowi istotny aspekt pracy projektowej. Dodatkowo, istnieje niepokój związany z wydajnością i precyzją SI.

Mimo, że narzędzia te są projektowane do poprawy efektywności pracy przez automatyzację procesów, niektórzy użytkownicy mogą mieć wątpliwości co do ich zdolności do dokładnego rozumienia i interpretacji złożonych wymagań projektowych. W konsekwencji obawy te mogą prowadzić do preferowania metod manualnych, które pozwalają na bezpośrednią i pełną kontrolę nad procesem kategoryzacji zadań.

W analizie wyników badań dotyczących wprowadzenia narzędzi SI do zarządzania zadaniami projektowymi w branży inżynierskiej istotne jest podkreślenie, że nawet przy wykorzystaniu zaawansowanych technologii użytkownicy nadal oczekują i potrzebują możliwości weryfikacji i akceptacji rezultatów wygenerowanych przez te systemy.

Mimo, że istnieją potencjalne korzyści płynące z automatyzacji i użycia sztucznej inteligencji, zaobserwowano silną tendencję wśród użytkowników do manualnego sprawdzania i potwierdzania zadań generowanych automatycznie przed ich finalnym przypisaniem do odpowiednich słowników znormalizowanych czynności. Ta potrzeba kontrolowania i potwierdzania rezultatów jest wynikiem zarówno obaw związanych z precyzją i adekwatnością automatycznych alokacji, jak i głęboko zakorzonego przekonania o konieczności zachowania bezpośredniej kontroli nad kluczowymi aspektami procesu projektowego. Podejście to ujawnia kluczową kwestię związaną z zaufaniem do narzędzi SI oraz z percepcją ich zdolności do pełnego zrozumienia i adekwatnego odzwierciedlenia złożoności zadań inżynierskich.

Użytkownicy, wyrażali potrzebę zachowania ostatecznej decyzji w swoich rękach, co wynikało z obaw, że algorytmy mogą nie uwzględniać wszystkich niuansów i specyfik projektowych, które są oczywiste dla doświadczonych inżynierów. To podejście ma również głębokie implikacje dla procesu wdrożenia i użytkowania narzędzi SI w firmach projektowych. Wskazuje ono na konieczność zapewnienia interfejsów umożliwiających łatwą weryfikację i korektę wygenerowanych alokacji przez użytkowników. Systemy te muszą być zaprojektowane w sposób umożliwiający nie tylko efektywną automatyzację, lecz także interaktywne i intuicyjne procesy weryfikacji, które wspierają użytkowników w szybkim i precyzyjnym sprawdzaniu oraz korygowaniu rezultatów.



Wykres 2: Zestawienie średnich wartości kluczowych parametrów wyników badań.

Kolejnym istotnym aspektem jest krzywa uczenia się związana z wdrożeniem narzędzia SI. Dłuższy czas adaptacji oraz potrzeba szkolenia i aklimatyzacji użytkowników do nowego systemu mogą powodować frustrację i opór, szczególnie w obliczu napiętych terminów i presji czasowej charakterystycznej dla projektów inżynierskich.

Wyniki badań wykazały również, że metody tradycyjne mogą być percepcyjnie bardziej efektywne dla niektórych użytkowników. Chociaż narzędzia manualne mogą być czasochłonne, oferują one użytkownikom bezpośrednią kontrolę nad każdym etapem procesu projektowego. Ta bezpośrednia kontrola przekłada się na wyższy poziom pewności dotyczący precyzji alokacji zadań oraz umożliwia natychmiastową korektę ewentualnych błędów. W konsekwencji dla niektórych użytkowników percepcyjna efektywność i kontrola nad procesem mogą przeważać nad teoretycznymi zaletami automatyzacji.

8.6.4. Dyskusja

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że dyskusja musi koncentrować się na kluczowych wnioskach i potencjale rozwojowym zastosowania sztucznej inteligencji w procesie projektowym w firmach inżynierskich, obejmującym planowanie realizacji prac projektowych [164]. Badania wykazały, że narzędzie oparte na SI, mimo że niesie ze sobą początkowe wyzwania związane z adaptacją i zrozumieniem nowego systemu [165], oferuje znaczące korzyści w efektywności i precyzji segmentacji danych, choć traktowane jest przez inżynierów z dystansem.

Wyniki nie wykluczają istnienia potencjalnych przewag automatyzacji nad tradycyjnymi metodami manualnymi, szczególnie w kontekście zarządzania złożonymi projektami wymagającymi precyzyjnej kategoryzacji zadań [164]. Jednocześnie ważne jest zwrócenie uwagi na czas adaptacji użytkowników do nowych technologii. Znacząca różnica w czasie wdrożenia pomiędzy narzędziem SI a metodami manualnymi podkreśla potrzebę dokładnego rozważenia strategii szkoleniowych i wsparcia dla użytkowników [166].

Optymalne wdrożenie nowych technologii wymaga zatem skupienia nie tylko na aspektach technicznych, ale również na czynniku ludzkim, w tym szkoleniu i adaptacji. Ponadto wyniki badań podkreślają znaczenie ciągłego doskonalenia i iteracji w procesie wdrażania narzędzi SI [97]. Możliwość ręcznej korekty i dostosowywania wyników przez użytkowników nie tylko zwiększa ich zaufanie do systemu, lecz także umożliwia zbieranie cennych informacji zwrotnych, które mogą zostać wykorzystane do dalszego ulepszania algorytmów i funkcjonalności narzędzi. Jest to kluczowe dla osiągnięcia optymalnej równowagi między automatyzacją, a kontrolą użytkownika nad procesem.

W kontekście dalszego rozwoju i potencjału technologii SI w zarządzaniu projektami inżynierskimi istotne jest dążenie do rozwiązań, które są zarówno technologicznie zaawansowane, jak i intuicyjne w obsłudze, a także przygotowane do potrzeb użytkowników. Innowacje powinny iść w parze z odpowiednim wsparciem i szkoleniem, co jest kluczowe dla zapewnienia ich skuteczności i akceptacji w środowisku profesjonalnym [153]. Zatem, choć wprowadzenie SI do segmentacji danych prezentuje obiecujący potencjał na przyszłość, równie ważne jest zrozumienie i adresowanie wyzwań związanych z ludzkim aspektem adaptacji i interakcji z nowymi technologiami [155]. To podejście nie tylko umożliwia efektywne wykorzystanie potencjału SI, lecz także maksymalizuje satysfakcję użytkowników i efektywność pracy w złożonym środowisku projektowym.

8.6.5. Wnioski

Przeprowadzone badania podkreślają potrzebę znalezienia skutecznego sposobu na integrację ręcznie tworzonych zadań z predefiniowanymi słownikami czynności inżynierskich. Jest to istotne dla generowania danych wejściowych do narzędzi SI. Opracowanie narzędzia opartego na sztucznej inteligencji, które ma za zadanie efektywnie łączyć ręcznie tworzone zadania z odpowiednimi elementami słowników, pokazuje potencjał zastosowania SI w automatyzacji zarządzania zadaniami projektowymi.

Badanie porównuje efektywność, łatwość użycia i stopień akceptacji narzędzia SI z tradycyjnymi, manualnymi metodami pracy, co jest kluczowe dla zrozumienia praktycznej użyteczności nowych technologii w profesjonalnym środowisku inżynierskim. Użytkownicy korzystający z narzędzia SI doświadczali dłuższego czasu wdrożenia w porównaniu z użytkownikami stosującymi metody

manualne. Może to wynikać ze złożoności i nowości rozwiązania SI, co wymaga dodatkowego czasu na naukę i adaptację.

Użytkownicy korzystający z manualnego rozwiązania byli w stanie sprawniej realizować zadania, co wskazuje na fakt, że bezpośrednia kontrola procesu może być w niektórych przypadkach bardziej efektywna niż użycie zautomatyzowanych systemów. Badanie wskazuje na obszary, w których technologie SI mogą przynieść największą wartość, podkreślając jednocześnie konieczność uwzględnienia krzywej uczenia się użytkowników oraz wpływu nowych technologii na efektywność pracy.

Z tych wniosków wynika, że wprowadzenie innowacyjnych rozwiązań, opartych na SI, w wielobranżowych firmach inżynierskich, ma duży potencjał, ale wymaga równoczesnego rozważenia aspektów szkolenia użytkowników, adaptacji do nowych narzędzi i potencjalnej potrzeby korekty wygenerowanych przez SI danych. Wyniki te mogą służyć jako podstawa do dalszego rozwoju narzędzi automatyzujących segmentację danych i łączenie ręcznie utworzonych zadań z USD. Z uwagi na preferencje części użytkowników w systemie Wayman udostępniono proste, łatwe w obsłudze i zapewniające pełną kontrolę narzędzie wspomagające manualną segmentację danych, szerzej opisane w rozdziale 10, należy to jednak traktować jako stan przejściowy.

Ostatecznie, nawet w obliczu rosnących możliwości technologicznych, czynnik ludzki pozostaje nieodłącznym elementem procesów projektowych, co pokazuje potrzebę tworzenia rozwiązań SI, które nie tylko maksymalizują efektywność, ale również harmonizują z naturalnymi procesami pracy i oczekiwaniami profesjonalistów z branży. Zapewnienie, że narzędzia SI są postrzegane jako wsparcie, a nie zastępstwo ludzkiego osądu, jest kluczowe dla ich skutecznego wdrożenia i akceptacji w przestrzeni profesjonalnego projektowania inżynierskiego.

8.7. FAZA EKSPERYMENTALNA II (GENEROWANIE PLANÓW W REAKCJI NA ZABURZENIA)

8.7.1. Wstęp

Wnioski przedstawione w punkcie 8.2.6. wskazują, że proces planowania projektu i pracy inżynierów oraz zmian planu wymuszany zaburzeniami i zmianami jest procesem o dużym potencjale na zastosowanie narzędzi opartych na SI. Respondenci badania ankietowego wskazywali nie tylko na duży potencjał i występowanie potrzeb w obszarze planowania i zmian planów, ale także gotowość do użycia rozwiązania opartego na SI.

Koncepcją leżącą u podstaw doktoratu wdrożeniowego było wykorzystanie istniejących rozwiązań opartych na SI w sposób nie wymagający od użytkownika końcowego zaawansowanej wiedzy

programistycznej, pozwalający w prosty sposób najpierw wybrać z jeden dostępnych modeli SI, a następnie zasilić wybrany model SI i uzyskać, w o wiele szybszym niż przy pracy manualnej, czasie wyniki w postaci alternatywnego planu realizacji prac projektowych.

Krokiem do spełnienia tego wymagania i jednocześnie jednym z celów prac eksperymentalnych było stworzenie uniwersalnego modelu atrybutów, który umożliwi standaryzację danych oraz ich wykorzystanie w algorytmach automatycznego planowania w systemie Wayman ERP przy użyciu modeli SI. W zakresie planowania prac projektowych kluczowym procesem jest proces planowania krótkoterminowego, ma on największy wpływ na codzienne działania projektantów i zawiera odpowiedź na pytanie jakimi zadaniami projektowymi mają zajmować się inżynierowie, w jakiej kolejności, w jakich przedziałach czasowych i jakie mają budżety godzinowe do dyspozycji. Plan krótkoterminowy jest źródłem informacji o delegowaniu zadań do projektantów i jego aktualność jest parametrem decydującym o efektywności procesu projektowania.

W trakcie eksperymentalnych prac badawczych sformułowano wytyczne i specyfikacje techniczną dla wymiany danych z zewnętrznym modelem SI, dokonano analizy zawartości rzeczywistych baz danych użytkowników systemu, przygotowano zestawy przykładowych danych uczących i walidujących, skonfigurowano dla wybranej przykładowej firmy środowisko dostarczone przez dostawcę modelu SI i przeprowadzono testy eksperymentalne na rzeczywistych danych historycznych użytkowników systemu Wayman.

8.7.2. Metodyka opracowania listy atrybutów

Plan krótkoterminowy w systemie Wayman jest zazwyczaj przygotowywany w perspektywie maksymalnie trzech tygodni. Nieprzewidywalność szczegółów realizacji inżynierskiej pracy projektowej sprawia, że planowanie detaliczne w dłuższej perspektywie nie jest uzasadnione. Dobre praktyki i cykl PDCA nakazują wykonywanie aktualizacji planu krótkoterminowego minimum raz w tygodniu, rekomendowane jest wykonywanie tej czynności w końcu tygodnia roboczego, tak aby projektanci przystępując do nowego tygodnia pracy mieli do dyspozycji racjonalną koncepcję realizacji prac projektowych. Powyższe zalecenia odnoszą się oczywiście do sytuacji, w której modyfikacje planu krótkoterminowego wykonywane są w sposób manualny.

Przy założeniu użycia narzędzi zewnętrznych opartych na modelu SI, modyfikacje planu krótkoterminowego będzie można realizować częściej i jednocześnie będą one mniej kosztowne, mniej absorbujące, a w rezultacie zapewnią skrócenie czasu, w którym projektanci nie będą dysponowali aktualnym planem pracy. Istotne w procesie przygotowania listy atrybutów było uwzględnienie zaleceń dostawcy modelu SI, który wskazał, że atrybuty opisujące projektanta powinny po pierwsze jednoznacznie wskazywać na wykonawcę zadania przez ciąg znaków, analogiczna uwaga dotyczyła

identyfikatora zadania. Tabela 15 zawiera listę atrybutów przygotowanych przez doktoranta wraz z opisem.

L.P.	Nazwa atrybutu	Opis atrybutu	Typ danych
1	Key	Unikalny klucz pięciocyfrowy np.:11111 jednoznacznie identyfikujący zadanie w relacyjnej bazie danych Wayman.	INT
2	Project_ID,	Unikalny klucz trzycyfrowy np.: 111 jednoznacznie identyfikujący projekt w bazie danych Wayman	INT
3	Task_ID	Unikalny klucz czterocyfrowy jednoznacznie definiujący zadanie w bazie danych Wayman	INT
4	Task_Planned_Start_Date	Data rozpoczęcia zadania. Format daty: YYYY-MM-DD. Data określa najwcześniejszy, racjonalnie możliwy i zgodny z harmonogramem realizacji projektu termin rozpoczęcia pracy nad zadaniem. Często jest to przewidywany termin dostępności kompletu danych wejściowych do projektowania.	DATE
5	Task_Planned_End_Date	Data zakończenia zadania. Format daty: YYYY-MM-DD. Data określa najpóźniejszy, racjonalnie możliwy i zgodny z harmonogramem realizacji projektu termin zakończenia pracy nad zadaniem. Często jest to przewidywany termin dostawy rezultatów pracy projektowej.	DATE
6	Task_Limit	Wyrażona liczbą ilość godzin przewidziana w budżecie projektu na realizację zadania.	FLOAT
7	Task_Status	Wartość jest elementem słownika statusów zadań systemu Wayman. Do celów eksportu należy przewidzieć tylko statusy „Wykonywane”, „Do sprawdzenia” i brak statusu oznaczający, że zadanie jest planowane, ale nie zostało jeszcze rozpoczęte.	VARCHAR
8	Login	Wartość pochodząca z tabeli pracowników tab_pracownicy_login systemu Wayman jednoznacznie definiujące projektanta (zdefiniowanego w systemie Wayman użytkownika), który jest wykonawcą zadania.	VARCHAR
9	Task_Employee_ID	Numer jednoznacznie identyfikujący wykonawcę konkretnego zadania.	INT
10	Employee_Planned_Start_Date	Data rozpoczęcia zadania przez pracownika. Format daty: YYYY-MM-DD. Data określa termin, w którym w planie terminowym zaplanowano rozpoczęcie pracy przez projektanta. Jest to kluczowa data z perspektywy planu krótkoterminowego, nie powinna ona być wcześniejsza niż planowana data rozpoczęcia zadania.	DATE
11	Employee_Planned_End_Date	Data zadania przez pracownika. Format daty: YYYY-MM-DD. Data określa termin, w którym w	DATE

		planie terminowym zaplanowano zakończenie pracy przez projektanta. Jest to kluczowa data z perspektywy planu krótkoterminowego, nie powinna ona być późniejsza niż planowana data rozpoczęcia zadania.	
12	Employee_Limit_Hours	Wyrażona liczbą ilość godzin przewidziana w budżecie projektu na realizację zadania przez pracownika. Wartość ta musi być równa lub mniejsza od ilości godzin na zadanie.	FLOAT
13	Distribution_Type	Element słownika Wayman opisującego numery identyfikacyjne typów dystrybucji godzin w zadaniu. Wartości to 1, 2, 3, 4.	VARCHAR
14	Distribution_Name	Element słownika Wayman opisującego nazwy typów dystrybucji godzin w zadaniu. Wartości to „równomierny”, „jak najszybciej”, „jak najpóźniej”, „zdefiniowany”.	VARCHAR
15	Project_Priority	Element słownika opisujący rodzaj priorytetu dla projektu w systemie Wayman. Wartości to: „brak priorytetu”, „Wysoki”, „Niski”.	VARCHAR
16	Stage_Priority	Element słownika opisujący rodzaj priorytetu dla etapu projektu w systemie Wayman. Wartości to: „brak priorytetu”, „Wysoki”, „Niski”.	VARCHAR
17	Task_Priority	Element słownika opisujący rodzaj priorytetu dla zadania w systemie Wayman. Wartości to: „brak priorytetu”, „Wysoki”, „Niski”.	VARCHAR
18	USD_ID	Wartość atrybutu jednoznacznie określającego przynależność zadania do określonego elementu słownika uniwersalnego spisu działań	INT
19	Data (kolumna dynamiczna)	Po stałych kolumnach znajdują się kolumny dynamiczne zawierające daty, np. 2025-02-15, 2025-02-16 itd., aż do ostatniego dnia planowania. Każda kolumna reprezentuje konkretny dzień w zakresie eksportowanych danych. Wartości w tych kolumnach mogą być liczbowe (np. liczba godzin pracy danego dnia) lub puste (brak zaplanowanej pracy).	INT

Tabela 15: Lista atrybutów przewidzianych do eksportu z modułu „Plan krótkoterminowy” systemu Wayman.

8.7.3. Metodyka selekcji źródeł danych

Zbiór 20 rzeczywistych baz danych użytkowników systemu Wayman stanowił kompletny zestaw potencjalnych źródeł danych wejściowych. Pierwszym krokiem w analizie danych był przegląd zapisów dotyczących modyfikacji planów krótkoterminowych. W przypadku 6 baz danych potwierdzono fakt systematycznej, cotygodniowej realizacji modyfikacji planu krótkoterminowego. Dodatkowo, spośród 6 wspomnianych powyżej baz danych, baza danych okrętowej wielobranżowej firmy projektowej zawierała zapisy systemowe w uwagach dokumentujące przyczyny wykonania zmian dla niektórych zadań. Strukturę danych historycznych pokazujących stan planu krótkoterminowego przed i po

wykonaniu rewizji można było dzięki temu uzupełnić o informacje dodatkowe, zapisane w uwagach i wyjaśniające przyczyny wykonania zmian i decyzje osób zarządzających projektami i pracownikami projektowymi.

Zdarzenie modyfikacji może zostać jednoznacznie zidentyfikowane w bazie danych na drodze analizy zapisów i logów zadań, korzystając z tej informacji możliwe jest użycie funkcjonalności eksportu danych obejmujących obraz planu krótkoterminowego w celu wygenerowania obrazu planu przed manualną zmianą planu realizacji projektów i po wykonaniu manualnie tej czynności przez użytkownika. Zawartość plików może być w łatwy sposób zwizualizowana w systemie Wayman w celu weryfikacji, a zbiór informacji dodatkowych pochodzących z uwag jest czytelny dla człowieka i może być przedmiotem łatwej dla eksperta branżowego aczkolwiek pracochłonnej analizy.

W celu wybrania źródła danych, bazy danych systemu Wayman konkretnej wielobranżowej firmy projektowej, dokonano przeglądu komentarzy do zadań, etapów i projektów we wszystkich 6 bazach danych, w których stwierdzono systematyczny i cykliczny charakter zmian planu krótkoterminowego. Finalnie wybrane zostało środowisko okrętowej, wielobranżowej firmy projektowej, której baza danych była przedmiotem opisanego w punkcie 8.3. i podpunktach badania zawartości baz danych użytkowników systemu Wayman.

Specyfika realizacji projektów okrętowych jest dobrze znana autorowi rozprawy, co wpływa na zwiększenie jakości weryfikacji poprawności danych, dodatkowo wybrana firma w szerokim zakresie korzystała ze słowników typowych zadań inżynierskich USD, co prowadzi do ujednoczenia nazewnictwa zadań w poszczególnych projektach.

Zespół programistów dokonał implementacji narzędzi do ekstrakcji informacji o uwagach dodawanych przez projektantów, kierowników projektów i kierowników pracowni, do narzędzia służącego do przygotowania danych wsadowych do modelu SI. Przegląd zapisów uwag pozwolił na zidentyfikowanie przypadków historycznej zmiany planów krótkoterminowych.

W formularzu planu krótkoterminowego w Wayman dodano ikony pozwalające na dokonanie zapisu do pliku CSV stanu planu krótkoterminowego w dowolnym momencie. W celu zagwarantowania możliwości dokonania świadomego zapisu stanu przed zmianą i po zmianie planu krótkoterminowego w systemie Wayman dodano powiadomienie przechwytyjące próbę zapisania nowej wersji planu krótkoterminowego. Użytkownik systemu Wayman miał, na etapie badań eksperymentalnych, możliwość podjęcia świadomej decyzji o zapisaniu pakietu danych obrazujących stan planu krótkoterminowego przed i po modyfikacji w formacie CSV jako danych wejściowych do modelu SI.

W ten sposób, każdy nowy użytkownik systemu mógł rozpocząć budowę zbiorów danych, które mogły być następnie wykorzystane do dostrojenia modelu SI udostępnionego przez zewnętrznego dostawcę skonfigurowanego do współpracy z systemem Wayman w celu przygotowania racjonalnych planów obciążenia krótkoterminowego zespołów projektowych.

8.7.4. Metodyka przygotowania danych wejściowych, reguły modyfikacji planu

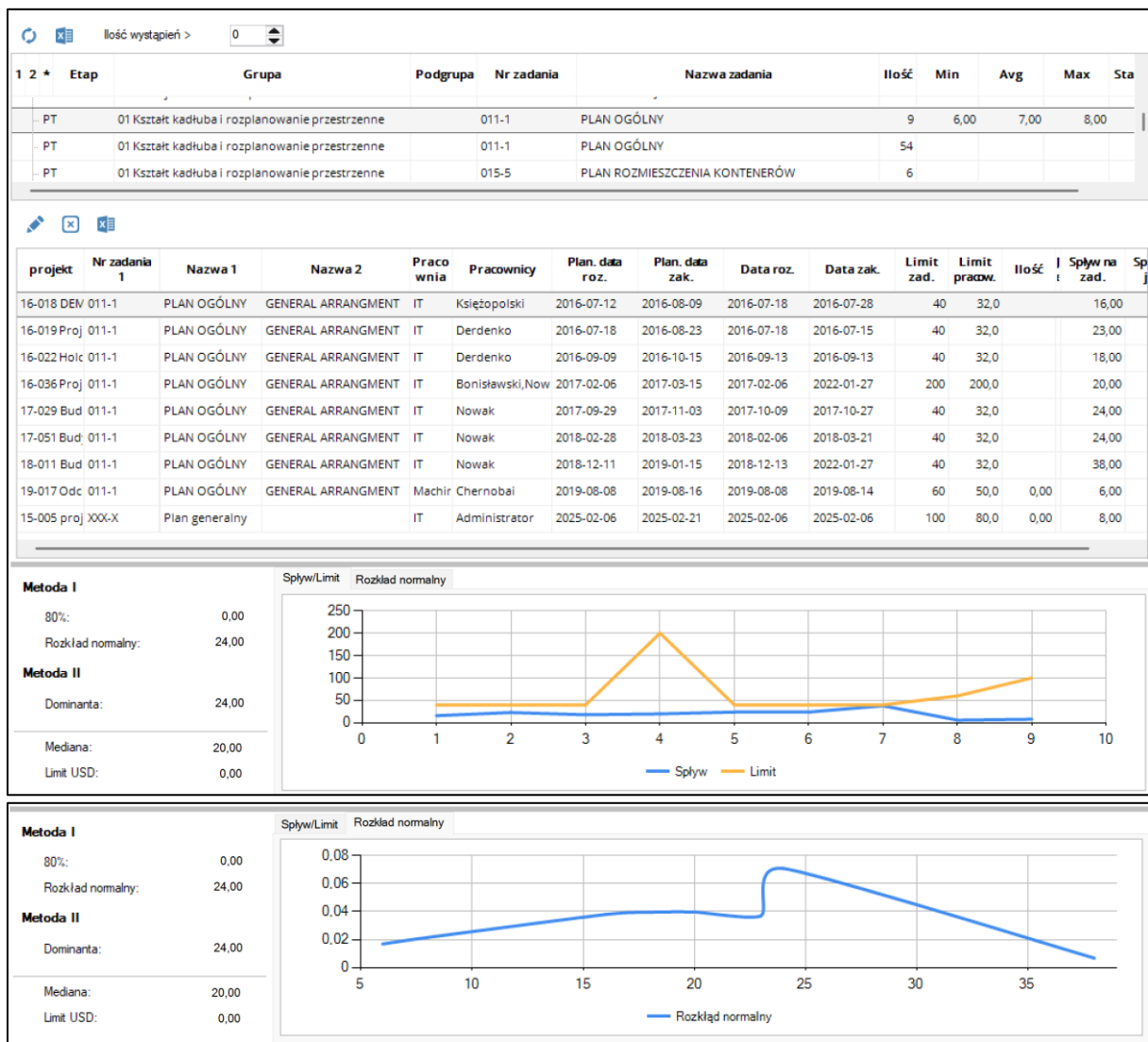
Dodatkowym zbiorem danych wejściowych dla modelu SI są reguły wykonywania modyfikacji planu przy użyciu dostępnych w systemie Wayman narzędzi zapisane jako klasy i metody w sposób algorytmiczny, przy użyciu składni języka C#. Reguły zapisane w systemie Wayman są wspólne dla wszystkich użytkowników systemu i stanowią stały zestaw danych wejściowych dla modelu SI zwiększający jakość generowanych planów na drodze dostrojenia, przy użyciu danych wejściowych, istniejącego modelu SI udostępnionego przez OpenAI. Zespół programistów Wayman przygotował w oparciu o informacje pozyskane z firmy OpenAI zapis algorytmiczny metod stosowanych w systemie Wayman do manualnego przygotowania modyfikacji planu krótkoterminowego w celu ich przekazania do modelu SI.

Zbiorem danych wspólnych dla wszystkich zadań i projektów w obrębie danej firmy są dane dotyczące historycznej realizacji zadań uznawanych z perspektywy USD za identyczne, posiadające taki sam unikalny identyfikator USD, czyli atrybut jednoznacznie określający przynależność zadania do określonego elementu słownika uniwersalnego spisu działań USD. Gromadzenie powyżej wskazanych danych jest dodatkową funkcjonalnością, poza opisanymi w rozdziale 8.5 niniejszej pracy. Każde zadanie wczytane do harmonogramu projektu z USD zadanie w toku jego realizacji gromadzi dane statystyczne o alokacji roboczogodzin, kosztów, terminach, statusów i zmienności tych parametrów.

Użycie funkcjonalności służącej do segmentacji i poprawy jakości danych wejściowych poprzez łączenie ręcznie utworzonych przez użytkowników systemu Wayman zadań z elementami USD pozwala na zwiększenie ilości danych tworzących zbiory statystyczne, co z kolei czyni narzędzie bardziej użytecznym i wiarygodnym. Na rysunku 18 przedstawiono interfejs Wayman, który zawiera listę elementów USD. W górnej części z zaznaczono przykładowy elementem USD o nazwie „Plan ogólny”. Jak widać element USD jest przyporządkowany do elementu uniwersalnego procesu projektowania etapu PT (Projekt Techniczny), należy do grupy 01 (kształt kadłuba i rozplanowanie przestrzenne) i występuje łączenie dziewięć (9) razy w bazie danych.

W części środkowej przedstawiony jest zbiór zadań uznanych za identyczne w ramach słownika USD, jak widać nazwy zadań są zapisane w różny sposób, a w bazie zgromadzono dane zarówno o terminach realizacji jak i planowanych budżetach godzinnych i alokacji roboczogodzin na zadaniach.

Poniżej w interfejsie znajdują się wykresy i zestawienia danych statystycznych dotyczących realizacji poszczególnych zadań przynależnych do USD w etapie PT i zadaniu „Plan ogólny”.



Rysunek 18: Zestawienie danych statystycznych dla zadań posiadających taki sam identyfikator USD.

Dane statystyczne pochodzące z historycznych zapisów realizacji prac projektowych w czasie wykonywania zadań posiadających identyczny identyfikator USD w bazie danych także stanowią zbiór danych wejściowych do modelu SI. Wartością przekazywaną do modelu jest mediana dla poszczególnych elementów USD pozwalająca na określenie końcowej alokacji godzin na poszczególnych zadaniach. Przyjęto założenie, że najbardziej wiarygodną wartością prognozowanego budżetu na koniec realizacji zadania jest właśnie mediana alokacji godzinowej wyliczana ze zbioru zadań z takim samym unikalnym identyfikatorem USD.

Zastosowanie mediany jako wartości przekazywanej do modelu wynika z właściwości rozkładu danych dotyczących alokacji godzinowej w zadaniach projektowych. W praktyce dane te są często

obciążone wartościami odstającymi – np. wyjątkowo długimi lub krótkimi czasami realizacji wynikającymi ze specyfiki pojedynczego zadania, błędów estymacyjnych bądź zmian organizacyjnych. W takich przypadkach średnia arytmetyczna mogłaby zostać istotnie zafałszowana przez skrajne wartości, prowadząc do mniej wiarygodnej prognozy końcowego budżetu godzinowego. Mimo iż system Wayman posiada funkcjonalność ręcznego usuwania wartości skrajnych, nie można wykluczyć ich obecności w zbiorze danych statystycznych.

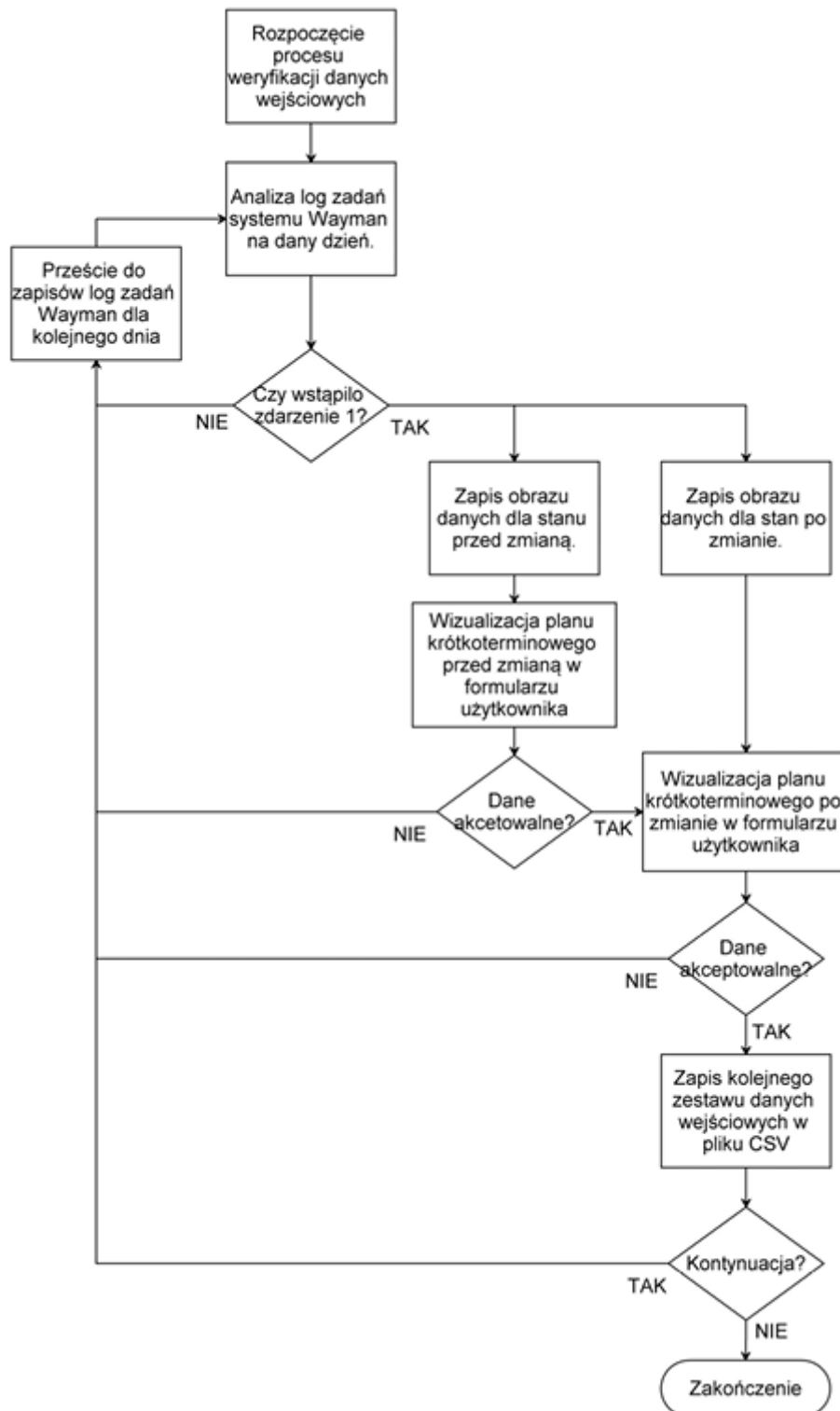
Mediana, jako wartość środkowa w uporządkowanym zbiorze obserwacji, lepiej odzwierciedla typowy przypadek i jest bardziej odporna na wartości odstające. Z tego względu przyjęto założenie, że najbardziej wiarygodnym wskaźnikiem prognozowanego budżetu godzinowego dla zadań o tym samym identyfikatorze USD jest właśnie mediana, a nie średnia. Pozwala to na uzyskanie bardziej stabilnej i reprezentatywnej estymacji, szczególnie w środowisku projektowym, gdzie zmienność danych może być duża. Zespół programistów przygotował w oparciu o zalecenia doktoranta i wytyczne dostawcy modelu SI skrypt integrujący system Wayman z modelem dostarczonym przez OpenAI przy użyciu API.

8.7.5. Metodyka przygotowania zbiorów danych wejściowych do modeli SI.

W celu przygotowania zbiorów danych uczących i walidujących konieczne było wyodrębnienie zestawów danych wejściowych do modelu SI na podstawie historycznych zapisów w bazie danych w zakresie obejmującym stan przed dokonaniem rewizji planu i po wykonaniu rewizji planu. Zadanie to zrealizowano zgodnie z autorską procedurą w sposób ręczny ze wsparciem informacji do analizy zawartości logów systemu Wayman. Realizacja zadania wymagała wiedzy z zakresu projektowania statków, inżynierii mechanicznej i doświadczenia z obszaru planowania pracy projektowej wykonywanej przez inżynierów.

Autorską metodologię weryfikacji zestawów danych wejściowych obejmującą wychwycenie faktu zapisania zmiany planu krótkoterminowego, wizualizację i ocenę stanu wejściowego, potwierdzenie wystąpienia zaburzeń, weryfikację zgodności nowego planu z zasadami projektowania statków i racjonalności nowego planu realizacji projektu zwieńczonego podjęciem decyzji o zapisie pakietu danych wejściowych przedstawiono na rysunku 19. W przebiegu procesu przedstawionego przy pomocy schematu blokowego występuje zdarzenie opisane hasłowo jako „Czy wystąpiło zdarzenie 1?“, chodzi tu o wystąpienie zdarzenia polegającego na systemowej zmianie daty realizacji zadań na kilku projektach jednocześnie. Dokonanie takiego zapisu jest możliwe w systemie Wayman tylko w formularzu planu krótkoterminowego, dzięki czemu można zidentyfikować na podstawie analizy logów zadań, w których zapisywana jest data i godzina zmiany z dokładnością co do sekundy, fakt dokonania przez użytkownika ręcznej zmiany planu krótkoterminowego. Przy użyciu opisanych powyżej narzędzi

i zgodnie z autorską metodologią prowadzono analizę zawartości baz danych w celu przygotowania przykładów stanu przed i po zmianie planu krótkoterminowego, co pozwoliło na przygotowanie zbiorów danych uczących i walidujących niezbędnych do badań.



Rysunek 19: Diagram przebiegu autorskiej metody przygotowania danych wejściowych do modelu SI na podstawie historycznych zapisów planu krótkoterminowego.

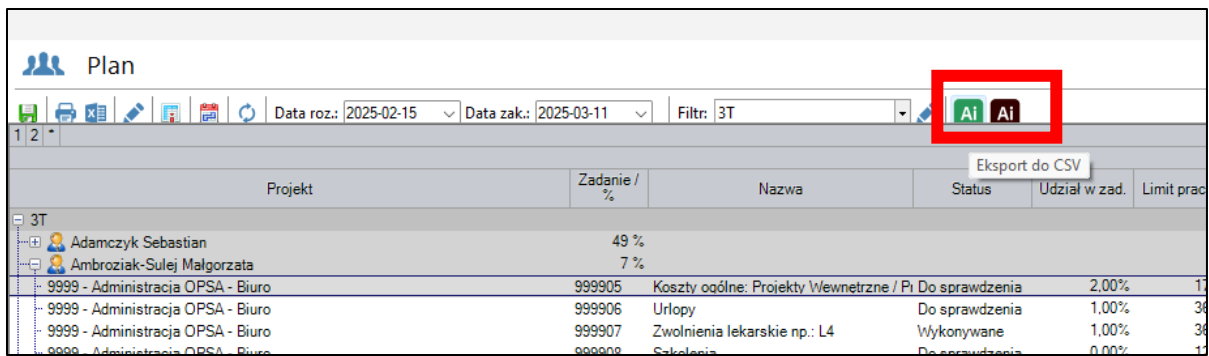
8.7.6. Specyfikacja techniczna formatowania pliku CSV

Specyfikacja techniczna w zakresie odnoszącym się do inżynierii mechanicznej sprowadza się do określenia kryteriów selekcji danych do eksportu oraz wymagań technicznych dotyczących eksportu pliku CSV. Nowy moduł służący do ekstrakcji danych powinien obejmować zakresem eksportu cały okres, na który przygotowano plan krótkoterminowy. W zakresie eksportu powinny być uwzględnione tylko zadania o statusie wskazującym o możliwą aktywność projektową w ramach zdania w przyszłości, czyli: brak statusu, wykonywane, do sprawdzenia, wykonywana zmiana, sprawdzony z uwagami.

Wymagania techniczne dla pliku CSV, do którego są eksportowane dane są standardowe dla plików zawierających dane systemowe eksportowane z systemu Wayman. Kodowanie UTF-8, jako separator stosowany jest przecinek (,), w nagłówku pliku, w celu uczynienia go czytelnym dla człowieka, plik CSV powinien zawierać pierwszą linię z nazwami atrybutów przedstawionych w kolumnach. Za każdym razem, gdy eksportowane są daty to format danych powinien być YYYY-MM-DD, dla liczb zmiennoprzecinkowych należy używać kropki jako separatora dziesiętnego, brak wartości ma być przedstawiony jako puste pole („”). Jeśli chodzi o aspekt modyfikacji interfejsu użytkownika uproszczono generowanie pliku poprzez naciśnięcie nowej ikony.

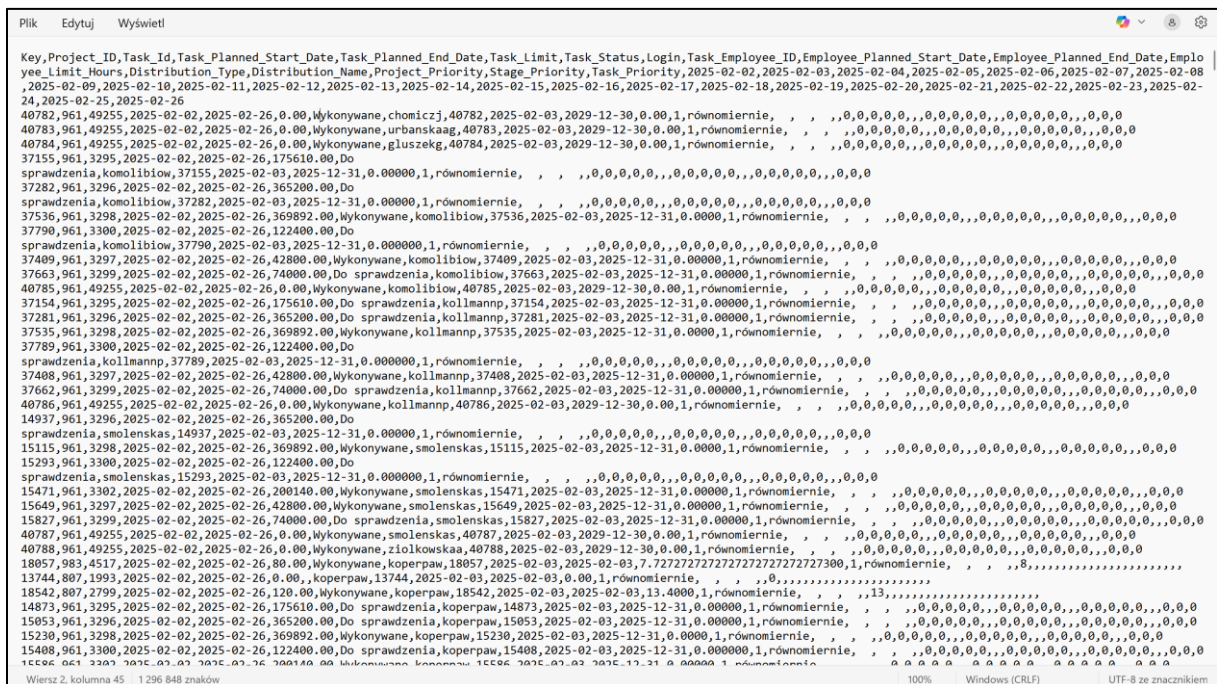
W module planu krótkoterminowego dodano ikonę (zielona ikona AI), której wywołanie pozwoli wskazać lokalizację i zmienić nazwę pliku. Moduł proponuje nazwę pliku CSV jako PLAN_Data_początkowa_planu_krótkoterminowego-data_końcowa_planu_krótkoterminowego.csv). Określenie powyższych szczegółów jest istotne z powodu konieczności zachowania czytelności plików wsadowych do modelu SI na etapie badań eksperymentalnych, jednocześnie znacząco ułatwi ono zespołowi programistów wykonanie docelowego, bardziej efektywnego narzędzia zasilającego danymi model SI na etapie wdrożeniowym opartym o JSON (skrót od JavaScript Object Notation – czyli notacja obiektowa JavaScript, lekki format wymiany danych, bardzo popularny w informatyce, szczególnie w aplikacjach internetowych i systemach korzystających z API).

Na podstawie specyfikacji technicznej zespół programistów Wayman przygotował moduł ekstrakcji danych dostępny z poziomu funkcjonalności planu krótkoterminowego w systemie Wayman. Na rysunku 20 pokazano widok na nowy formularz modułu planu krótkoterminowego. W module dodano także przycisk pozwalający na import do planu krótkoterminowego pliku CSV (czarna ikona AI). Odpowiedź modelu SI była generowana w analogicznym formacie pliku CSV, przykładową zawartość pliku CVS pokazano w widoku edytora tekstowego na rysunku 21.



Rysunek 20: Zmodyfikowany wygląd planu krótkoterminowego w Wayman z ikonami generującymi i wczytującymi pliki CSV.

Przykładowy plik CSV przedstawiono na rysunku 21.



Rysunek 21: Zawartość przykładowego pliku CSV zawierającego plan krótkoterminowy.

8.7.7. Wyniki

Przygotowanie zbiorów danych uczących i walidujących oraz wybór zbiorów przypadków zmian planów jak i zapis planu przed oraz po wykonaniu planu realizowany był zgodnie z metodologią przez analizę logów zmian zadań w systemie Wayman. Rysunek 22 pokazuje przykładowe zapisy z logu zadań zapisanych w bazie danych wybranej okrętowej firmy projektowej.

Log

Zadanie

Log: Edycja Od: 01.01.2016 Do: 31.12.2024

Dane Procent wykon. Uwagi Raportowanie Aktualne Raportowanie - zakres Zmiany ustawień Logowania

Projekt	Etap	Nr dok.	Nazwa dok.	Pracownik	Nr	Data	Pole	Przed	Po
14-015	PR	40400-1	Plan siłowni (pom. ZP i SG) Rysunek	Jaźwiński Krzysztof	36	2016-03-01	Status BDC	6	1
14-015	PR	40400-1	Plan siłowni (pom. ZP i SG) Rysunek	Jaźwiński Krzysztof	36	2016-03-01	StatusBDC_Data	2016-02-19 16:36:32	2016-03-01 16:52:27
14-015	PR	4520-59	Fundament i zamocowanie hvachum	Jaźwiński Krzysztof	46	2016-03-01	Plan. data. zak.	2016-02-24 00:00:00	2016-03-04 00:00:00
14-015	PR	4520-59	Fundament i zamocowanie hvachum	Jaźwiński Krzysztof	46	2016-03-01	Limit	3	8
14-015	PR	4520-59	Fundament i zamocowanie hvachum	Jaźwiński Krzysztof	46	2016-03-01	LimitUser	3,0	8
14-015	PR	4410-1; -1W	FIZ zespołu prądowórczego awaryjny	Jaźwiński Krzysztof	18	2016-03-01	Nazwa PL	FIZ zespołu prądowó	FIZ zespołu prądowórcze
14-015	PR	4410-1; -1W	FIZ zespołu prądowórczego awaryjny	Jaźwiński Krzysztof	18	2016-03-01	Plan. data. zak.	2016-02-29 00:00:00	2016-03-08 00:00:00
14-015	EW	14-015-PR_771C	Fundament i zamocowanie w kadłubi	Malek Maciej	8	2016-03-02	Limit	56	40
14-020	Aneks	002	Machinery works coordination	Sobociński Patryk	10	2016-03-02	Status BDC	1	4
14-015	EW	14-015-PR_771C	Fundament i zamocowanie EM16 hull	Malek Maciej	8	2016-03-02	Limit	60	40
14-015	PR	40400-1	Plan siłowni (pom. ZP i SG) Rysunek	Jaźwiński Krzysztof	36	2016-03-02	Status BDC	1	6
14-015	PR	40400-1	Plan siłowni (pom. ZP i SG) Rysunek	Jaźwiński Krzysztof	36	2016-03-02	StatusBDC_Data	2016-03-01 16:52:27	2016-03-02 09:48:37
14-015	PR	1100-08, -08W	Sekcja U08 - Model+Rysunek + Lista n	Jaźwiński Krzysztof	25	2016-03-02	Rzecz. data. zak.	2016-02-03 09:40:18	2016-03-02 09:56:28
14-015	PR	1100-08, -08W	Sekcja U08 - Model+Rysunek + Lista n	Jaźwiński Krzysztof	25	2016-03-02	Procent wykonania	0	100
14-015	PR	1100-08, -08W	Sekcja U08 - Model+Rysunek + Lista n	Jaźwiński Krzysztof	25	2016-03-02	Status BDC	6	1
14-015	PR	1100-08, -08W	Sekcja U08 - Model+Rysunek + Lista n	Jaźwiński Krzysztof	25	2016-03-02	StatusBDC_Data	2016-02-03 09:40:19	2016-03-02 09:56:28
14-015	PR	1500-08_DXF 1!	Sekcja U08 - Katalog kart wykroju dla	Jaźwiński Krzysztof	24	2016-03-02	Rzecz. data. zak.	2016-03-02 12:08:21	2016-03-02 12:08:21
14-015	PR	1500-08_DXF 1!	Sekcja U08 - Katalog kart wykroju dla	Jaźwiński Krzysztof	24	2016-03-02	Status BDC	4	1
14-015	PR	1500-08_DXF 1!	Sekcja U08 - Katalog kart wykroju dla	Jaźwiński Krzysztof	24	2016-03-02	StatusBDC_Data		2016-03-02 12:08:21
14-015	PR	7910-1	Ster strumieniowy dziobowy	Jaźwiński Krzysztof	18	2016-03-02	Plan. data. zak.	2016-02-22 08:00:00	2016-03-02 08:00:00
14-015	PR	7910-1	Ster strumieniowy dziobowy	Dziamska Justyna	19	2016-03-02	Status BDC	6	1
14-015	PR	7910-1	Ster strumieniowy dziobowy	Dziamska Justyna	19	2016-03-02	StatusBDC_Data	2016-02-19 12:54:38	2016-03-02 12:55:49
14-015	PR	0820-1	Program prób zdawczo-odbiorczych	Jaźwiński Krzysztof	29	2016-03-02	Procent wykonania	10	70
14-015	NA	14-015-KZ-159	Nr Rys 14-015-PR_1100-04 Zaslepieni	Jaźwiński Krzysztof	22	2016-03-02	Pracownia	Hull	Outfitting
14-015	NA	14-015-KZ-159	Nr Rys 14-015-PR_1100-04 Zaslepieni	Jaźwiński Krzysztof	22	2016-03-02	Nazwa PL	Nr Rys	Nr Rys 14-015-PR_7120-4
14-015	NA	14-015-KZ-159	Nr Rys 14-015-PR_1100-04 Zaslepieni	Jaźwiński Krzysztof	22	2016-03-02	Plan. data. roz.	2016-02-23 14:45:37	2016-03-02 14:45:37

Rysunek 22: Log zmian zadań w systemie Wayman.

Struktura logu dla każdego zadania zawiera informacje o projekcie, etapie projektu, numerze i nazwie dokumentu, które to atrybuty jednoznacznie identyfikują każde zadanie projektowe. W kolejnych kolumnach znajduje się informacja o imieniu i nazwisku pracownika, którego dotyczy zmiana i którego plan krótkoterminowy powinien zostać poddany analizie w przypadku stwierdzenia zmian terminów realizacji zadania.

Data zmiany i identyfikacja zmienianego atrybutu może zostać określona za pomocą wartości wskazanych w kolumnie „Data” i kolumnie „Pole”. Parametry, które są przedmiotem zainteresowania i wskazują jednoznacznie na zmianę planu krótkoterminowego pracownika są zmiany planowanych dat rozpoczęcia i/lub zakończenia zadań. Nazwy atrybutów to odpowiednio „Plan. Data roz.” oraz „Plan data zak.”. Na rysunku 22 zaznaczono kolorem czerwonym przykładowe rekordy wskazujące na zmiany planu krótkoterminowego dla pracownika Jaźwiński Krzysztof (dane osobowe fikcyjne, zostały zmienione w trakcie procedury ukrycia danych wrażliwych).

Dla każdego z zadań można zweryfikować istnienie numeru identyfikacyjnego USD i w przypadku jego braku przypisać zadanie do USD ręcznie przy użyciu wytworzonej na wcześniejszych etapach prac narzędzi do segmentacji danych. W toku analizy danych stwierdzono, że w bazie danych występują sporadycznie zadania unikalne, których nie można przypisać do żadnego elementu USD i utworzyć grupy.

Zaznaczone na rysunku 22 kolumny „Przed” i „Po” zawierają dla każdego rekordu oznaczającego zmianę terminu realizacji zadania informacje o wartości atrybutów przed i po ręcznej korekcie planu krótkoterminowego. Daty wskazane w komórce „Po” służą do walidacji wyników działania modelu SI.

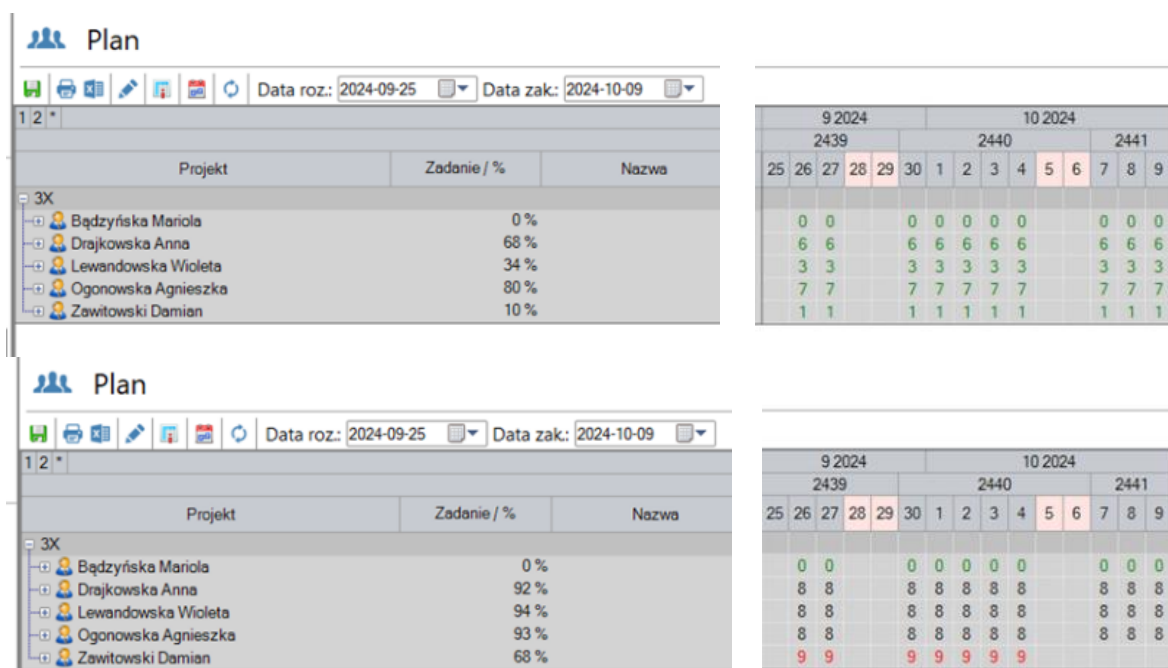
Proces walidacji rezultatów działania modelu w postaci nowej wersji planu krótkoterminowego obejmuje kryteria weryfikacyjne nowego planu krótkoterminowego z planem walidacyjnym i zostały przedstawione i opisane szczegółowo w tabeli 16.

Nr	Nazwa kryterium walidacyjnego	Opis wytycznych do wyceny eksperckiej kryterium	Warunki spełnienia/niespełnienia kryterium
1	Racjonalność obciążenia pracownika	Suma godzin przypisanych do pracownika w poszczególnych zadaniach na każdy dzień powinna być racjonalna i mieścić się w przedziale 7-9 godzin dziennie.	Spełnione gdy sumaryczna ilość godzin przypisanych pracownikowi na każdy dzień mieści się w przedziale 7-9.
2	Zgodność terminów realizacji	Terminy rozpoczęcia i zakończenia zadań przez pracownika powinny mieścić się w przedziale czasu wyznaczonym przez planowaną datę rozpoczęcia i planowaną datę zakończenia zadania.	Kryterium zostanie uznane za niespełnione jeżeli zmianie ulegną planowane terminy rozpoczęcia lub zakończenia zadań, oraz w sytuacji, gdy planowane terminy realizacji zadania przez pracownika będą wykraczały poza ramy czasowe wyznaczone przez planowane terminy realizacji zadania.
3	Zgodność listy wykonawców zadania	Zmiana wykonawcy zadania projektowego w trakcie realizacji zadania powinna być traktowana jako zaburzenie.	Kryterium jest uznane za spełnione jeśli moduł SI nie dokona zmian wykonawcy zadania.
4	Zgodność planowanego budżetu zadania	Zmiana budżetu w wielu wielobranżowych firmach projektowych wymaga formalnej akceptacji zawsze w przypadku zwiększenia budżetu.	Kryterium uznane jest za spełnione w przypadku gdy budżet pozostaje niezmienny lub gdy budżet został zmieniony na mniejszy niż budżet pierwotny ale zgodny z medianą alokacji zapisaną w USD.
Kryterium dodatkowe			
5	Zgodność sekwencji realizowanych zadań z	Pomiędzy kolejnymi zadaniami realizowanymi w procesie projektowania statków istnieją	Kryterium jest spełnione w przypadku pozytywnej oceny przez eksperta.

	logiką realizacji projektów statków	logiczne związki przyczynowo skutkowe. Ocena zgodności z logiką projektowania będzie podejmowana na zasadzie subiektywnej decyzji eksperta z zakresu projektowania statków.	
6	Istotność poszczególnych kryteriów dla konkretnego przypadku	Ocena istotności kryterium w analizowanym przypadku planu krótkoterminowego jest podejmowana przez eksperta z zakresu projektowania statków. Parametr istotności określany może być jako: istotny, obojętny, nieistotny.	Kryterium dodatkowe niesie z sobą wagi: Istotny – 10 punktów Obojętny – 5 punktów Nieistotny – 0 punktów W przypadku spełnienia kryteriów punktacja przyjmuje wartości dodatnie, w przypadku niespełnienia przyjmuje wartości ujemne.

Tabela 16: Kryteria oceny planów krótkoterminowych w procesie walidacji.

Przykładowy wynik działania modelu SI w celu przygotowania alternatywnego planu krótkoterminowego dla wybranego pracownika pokazano na rysunku 23, który obrazuje zaburzony plan krótkoterminowy przedstawiający nieracjonalne obciążenie pracownika, który jest niedociążony w górnej części rysunku i widok planu krótkoterminowego wygenerowanego przez model SI (poniżej).



Rysunek 23: Porównanie planu krótkoterminowego przed i po modyfikacji wykonanej przez model SI.

Na pokazanym przykładzie widoczne jest działanie modelu SI, który prawidłowo dokonuje korekty obciążenia pracowników zadaniami projektowymi w zakresie kryterium racjonalności obciążenia pracownika.

Pracownik Bądryńska Mariola (imię i nazwisko fikcyjne) nie miała przypisanych żadnych zadań i model SI pozostawił ją bez zadań, natomiast dla wszystkich pozostałych osób dokonał przesunięcia terminów realizacji zadań w taki sposób, że mieszczą się one w ramach wyznaczonych dla kryterium racjonalności obciążenia pracownika.

Powyższy przykład uzyskanych wyników został przedstawiony w interfejsie Wayman z uwagi na to, że zmiany terminów realizacji zadań w taki sposób, by pracownicy byli obciążeni racjonalnie jest najbardziej pracochłonnym zadaniem dla odpowiedzialnych za przygotowanie planu osób. Otrzymane efekty były zbliżone do obrazu planu krótkoterminowego przygotowanego przez człowieka. Jedyną różnicą w omawianym przypadku było ręczne obniżenie budżetu zadania przypisanego pracownikowi Zawitowski Damian.

Należy jednak wskazać, że zmiana ta nie było zgodna z medianą zapisaną dla grupy zadań zapisanych w tabeli USD i została prawdopodobnie wykonana tylko w celu zachowania 8 godzinowego planu obciążenia pracownika. Zmianę tą można uznać za nieistotną. Dla wszystkich kryteriów w każdym przypadku przeprowadzono analogiczną analizę porównawczą z wizualizacją w interfejsie Wayman, dla każdego z czterech wybranych przypadków z rzeczywistej bazy danych użytkownika systemu Wayman.

W trakcie realizacji fazy eksperymentalnej II badań wyodrębniono łącznie 17 przypadków zmiany planu krótkoterminowego, przy czym dla czterech przypadków możliwym było określenie przyczyn zaistnienia zmiany. Należy wskazać, że dla wszystkich pozostałych przypadków zmian planu efekty działania modelu SI były zbieżne z wynikami zmiany wywołanej zdarzeniem określanym jako „Nowy projekt”. Wyniki zostały przedstawione w formie tabelarycznej w tabeli 17. Zawierają one zestawienie wyników, opis zidentyfikowanych zaburzeń i wartości dla poszczególnych kryteriów.

Przyczyna zaburzeń		Kryteria oceny				
		1	2	3	4	5
Rozpoczęcie nowego projektu (14 wystąpień)	Spełnione	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
	Istotność	Istotny	Istotny	Istotny	Istotny	Obojętny
	Punktacja	10	10	10	10	5
Zmiana zakresu pracy projektowej	Spełnione	TAK	TAK	Tak	TAK	NIE
	Istotność	Istotny	Istotny	Istotny	Istotny	Obojętny
	Punktacja	10	10	10	10	-5

Wstrzymanie realizacji projektu statku badawczego	Spełnione	TAK	TAK	TAK	TAK	NIE
	Istotność	Istotny	Obojętny	Obojętny	Obojętny	Obojętny
	Punktacja	10	5	5	5	-5
Opóźnienie realizacji projektu, brak danych.	Spełnione	TAK	NIE	TAK	TAK	NIE
	Istotność	Istotny	Nieistotny	Nieistotny	Obojętny	Nieistotny
	Punktacja	10	0	0	5	0

Tabela 17. Zestawienie wyników i kryteriów oceny efektywności działania modelu SI

Pierwsza hipoteza szczegółowa dotyczyła założenia, że *narzędzia SI umożliwiają automatyczne generowanie racjonalnych planów realizacji prac projektowych, dostępnych szybciej niż plany tworzone manualnie, uwzględniających alternatywne scenariusze zależne od założeń początkowych*. O ile określenie racjonalności generowanych planów realizacji prac projektowych zostało potwierdzone przy pomocy eksperckich analiz wyników, to w zakresie szybkości wykorzystano możliwości rejestracji czasu i zapisu dat występowania zdarzeń w toku realizacji projektu w celu określenia i porównania czasu wykonania zmian planów w rzeczywistym środowisku ręcznie i przy użyciu modelu SI.

Określenie precyzyjnego momentu wystąpienia zaburzenia i wiarygodnej daty rozpoczęcia planowania możliwe było dla 4 przypadków wskazanych w tabeli 18. Dla tych projektów wystąpiły zapisy systemowe dokumentujące datę wystąpienia i przyczynę wystąpienia zmiany. Kluczowe dla weryfikacji tezy było określenie czasu przygotowania zmian w planie krótkoterminowym oraz ilości zadań i ilości pracowników realizujących te zadania, którzy zostali objęci działaniami manualnym podejmowanymi w ramach zmiany planu krótkoterminowego.

W tabeli 18 przedstawiono zestawione porównawczo wyniki pomiarów i odczytów czasu trwania procesu generowania nowych wersji planu przy użyciu modelu SI. Tak jak wskazują aktualne wyniki badań naukowych dotyczących użycia SI do przygotowania planów pracy projektowej i harmonogramowania [117] udział człowieka w procesie tworzenia nowych planów z perspektywy odpowiedzialności jest niezbędny. W rzeczywistości wyniki generowane przez model SI będą poddawane analizie przez managerów w celu podjęcia finalnej decyzji. Jest to zgodne z założeniami i tezą i przyjęto, że czas poświęcony na ocenę ekspercką pod kątem spełnienia kryteriów nowych wariantów planów odpowiada czasowi, który w przypadku komercyjnego użycia zostanie poświęcony przez managera na analizę wyników w celu podjęcia decyzji lub wprowadzenia finalnych, drobnych modyfikacji.

Przyczyna zaburzeń	Czas manualnej zmiany planu [minuty]	Ilość proj. objętych zmianami planu [osoby]	Ilość zmienionych zdań [Szt.]	Czas generowania nowego planu przez model SI [minuty]	Czas analizy eksperckiej [minuty]	Ilość proj. objętych zmianami planu [osoby]	Ilość zmienionych przez SI zadań [Szt.]
	Manualna modyfikacja planu			Modyfikacja planu wsparta przez model SI			
Nowy projekt	390	20	232	8	120	14	232
Aneks zakresu	95	6	40	4	60	6	40
Wstrzymanie prac	135	24	80	7	60	24	320
Opóźnienie brak danych	126	15	113	5	45	18	160

Tabela 18: Zestawienie porównawcze czasu generowania nowych wersji planu manualnie i przy wsparciu SI.

Dla zobrazowania i porównania całkowitych czasów, obliczonych zgodnie z założeniami, dla projektów, w których można było wskazać moment wystąpienia zmian i pozyskać z baz danych czas manualnego przygotowania nowej wersji planu w tabeli 18 pokazano wartości procentowe oszczędności całkowitego czasu planowania wynikające z użycia modelu SI do wsparcia procesu planowania. Wartości procentowe określono poprzez stosunek rzeczywiście zaoszczędzonych godzin do całkowitej ilości godzin poświęconych na manualne przygotowanie nowych wersji planu.

Przyczyna zaburzeń	Nowy projekt	Aneks zakresu	Wstrzymanie prac	Opóźnienie brak danych
Oszczędność czasu na planowaniu	33%	67%	50%	40%

Tabela 19. Zestawienie wartości procentowych oszczędności czasu przy użyciu SI.

8.7.8. Dyskusja

Plany krótkoterminowe generowane przez model SI uzyskiwane były praktycznie w czasie nieprzekraczającym 10 minut, co jest znaczącym zyskiem dla firm projektowych, które mogą skrócić czas potrzebny do analizy nowej propozycji planu [167], jednocześnie należy zachować ostrożność przy formułowaniu wniosków, że czas przygotowania planów zostanie zredukowany do kilku minut.

Wyniki wskazują na użyteczność wygenerowanych przez model SI planów, należy jednak wskazać, że w trzech przypadkach plany nie spełniły kryterium dodatkowego. Dla zmiany zakresu pracy, wstrzymania realizacji projektu i opóźnienia realizacji projektu w wygenerowanych przez SI planach krótkoterminowych nie została zachowana logiczna sekwencja realizacji projektu statku.

Dla zaburzenia polegającego na opóźnieniu realizacji projektu z powodu braku danych uznano to kryterium dodatkowe za nieistotne z uwagi na funkcjonalność planu krótkoterminowego w Wayman,

który przesuwają nierozpoczęte zadania w czasie, gdyż wraz z upływającym czasem nie ma możliwości rozpoczęcia ich realizacji w minionych terminach. Jeżeli zadanie nie zostało na przykład rozpoczęte w terminie i planowany termin realizacji upłynął to najwcześniejszy nowy termin rozpoczęcia zadania jest w dniu dzisiejszym.

W badanym przypadku nowy plan krótkoterminowy został wykonany przez człowieka z dużą zwłoką, w momencie realizacji, czyli w stanie zaburzonym zadania były skumulowane i część z nich nie miała identyfikatora USD, gdyż były to czynności unikalne jak np.: inwentaryzacje. W rzeczywistości, prawidłowe zastosowanie modelu SI powinno być podjęte niezwłocznie, prawdopodobnie nie doszło by wówczas do kumulacji nierozpoczętych zadań w tym samym dniu.

W przypadku wstrzymania realizacji projektu użytkownik systemu podobnie jak w opisanym powyżej przykładzie zwlekał z przygotowaniem alternatywnej wersji planu i nie skorzystał z funkcjonalności systemu polegającej na wstrzymywaniu etapów projektów. Z kolei dla zmiany zakresu pracy projektowej wprowadzone nowe zadania zostały przez użytkownika zdefiniowane jako zaburzenie występujące w postaci nielogicznej kumulacji zadań, która obejmowała jednoczesne wykonanie skanowania laserowego, obróbki chmury punktów i przygotowania modelu 3D zeskanowanych instalacji.

Należy jednak podkreślić, że w bazie danych użytkownika i w USD wprowadzone do harmonogramu nowe zadania nie miały identyfikatora USD i zostały zdefiniowane po raz pierwszy, nigdy wcześniej nie pojawiły się tego typu zadania w historii realizacji projektów, nie występowały więc one w zbiorach uczących.

Wszystkie pozostałe kryteria zostały spełnione. Plany generowane przez model SI prezentowały racjonalne obciążenie, terminy realizacji zadań przez pracowników mieściły się w ramach czasowych wyznaczonych przez terminy rozpoczęcia i zakończenia zadań. Model SI nie modyfikował wykonawców ani budżetów zadań.

Brak zachowania logiki procesu projektowania, który wystąpił w kilku przypadkach, jest oczywistą słabością generowanych przez SI planów krótkoterminowych, jednak są one bardzo łatwe do wychycenia i można założyć, że wraz z częstszym występowaniem zadań unikalnych i po utworzeniu zbiorów zadań w USD częstotliwość występowania tego typu błędów zostanie ograniczona [168].

Pomimo wysokiej skuteczności nowego narzędzia i nowego podejścia do planowania, ujawniono również pewne ograniczenia. W przypadku występowania projektów zawierających bardzo rozwlekłe w czasie lub skumulowane sztucznie, unikalne zadania, albo w przypadku występowania projektów o nieuporządkowanych strukturach danych lub niskiej jakości segmentacji zadań przez użytkowników,

skuteczność algorytmu była niższa [169]. Dodatkowo zauważono, że niektóre sugestie generowane przez SI wymagały walidacji eksperckiej i finalnie korekty, wskazując tym samym, że rola człowieka jako użytkownika nadzorującego musi zostać zachowana.

Ta obserwacja wpisuje się zresztą we wnioski z uprzednio przeprowadzonych badań, w których kwestie odpowiedzialności osobistej managerów za wynik prowadziły do tego, że wyniki generowane przez model SI były uważnie weryfikowane przez managerów co wydłużało czas segmentacji. Wniosek jest także zgodny z obecnymi trendami w literaturze naukowej.

Wartości otrzymanych oszczędności czasu poświęcanego na planowanie przedstawione w tabeli 18 prowokują do dyskusji nad tym w jakim stopniu mogą one zostać uznane za reprezentatywne dla szerokiej populacji managerów wielobranżowych inżynierskich firm projektowych. Założenie, że czas poświęcony przez managera na manualne przygotowanie nowego planu w reakcji na zaburzenie jest porównywalne do łącznego czasu pracy modelu SI i czasu poświęconego przez eksperta na ocenę nowego, wygenerowanego automatycznie planu, może zostać w łatwy sposób podważone. Jednakże idealne odwzorowanie obu porównywanych procesów nie jest możliwe, wspólnym mianownikiem dla obu działań jest człowiek, który w jednym przypadku wykonuje zmiany planu, a w drugim weryfikuje rezultaty działania modelu SI przygotowującego modyfikację planu. Nawet jeśli przyjąć, że oba zadania wykona ta sama osoba, to zawsze wynik realizacji kolejnego zadania będzie zaburzony realizacją wcześniejszego zadania dotyczącego tego samego projektu i tej samej sytuacji.

Dokładne zbadanie wpływu stosowania nowej metodologii planowania przy wsparciu modelu SI na zwiększenie efektywności realizacji procesu projektowania może być przedmiotem odrębnych badań naukowych, do których rozpoczęcia pozyskane wyniki mogą być inspiracją.

Z praktycznego punktu widzenia, narzędzie dobrze wpisuje się w realia organizacyjne wielobranżowych firm projektowych, oferując rozwiązanie wspierające podejmowanie decyzji — a nie je całkowicie zastępujące [170]. W badaniu potwierdzono również wysoką akceptowalność rozwiązania przez użytkowników, co stanowi ważny aspekt w kontekście rzeczywistej implementacji systemów opartych na SI.

8.7.9. Wnioski

Przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdziły, że zastosowanie narzędzi opartych na sztucznej inteligencji umożliwia skuteczne i szybkie generowanie planów korygujących w odpowiedzi na zakłócenia występujące w procesach projektowych. Zastosowane algorytmy pozwoliły na zdecydowaną redukcję średniego czasu reakcji na zakłócenia przy czym nie zawsze występuje możliwość dokładnego porównania czasu, gdyż na czas pracy mają wpływ okoliczności.

Wystarczającym potwierdzeniem tezy o oszczędności czasu przy pomocy modeli SI w porównaniu z podejściami manualnymi, przy zachowaniu lub poprawie jakości planów projektowych, jest fakt generowania nowego planu krótkoterminowego do analizy w kilka, kilkanaście minut.

Należy podkreślić także, że efektywność działania rozwiązania jest w dużej mierze uzależniona od jakości danych wejściowych, w szczególności od poprawnej segmentacji zadań, utworzeniu zbiorów zadań współdzielących identyfikator USD oraz szczegółowym udokumentowaniu historii realizowanych projektów.

Wdrożenie rozwiązania opartego na SI nie eliminuje potrzeby obecności wysoko wykwalifikowanego managera, jednak znacząco wspiera jego pracę, umożliwiając bardziej świadome i uzasadnione decyzje planistyczne.

Uzyskane wyniki potwierdziły postawioną na wstępie tezę, są one także zgodne z wynikami badań ankietowych i potwierdzają, że występuje wysokie prawdopodobieństwo komercjalizacji rozwiązania po jego wdrożeniu do systemu Wayman.

9. EFEKT NAUKOWY - OSIĄGNIĘTE CELE BADAŃ W ODNIESIENIU DO POSTAWIONYCH HIPOTEZ.

9.1. WPROWADZENIE

Celem niniejszego rozdziału jest przedstawienie efektu naukowego osiągniętego w ramach pracy doktorskiej poprzez odniesienie wyników badań do hipotezy głównej oraz hipotez szczegółowych przedstawionych w Rozdziale 6. Analizie poddano zarówno rezultaty badań ankietowych, jak i eksperymentów z udziałem rzeczywistych danych projektowych oraz wdrożeń systemowych w środowisku firm inżynierskich.

9.2. REALIZACJA CELÓW BADAWCZYCH

W tabeli 20 przedstawiono cele badawcze i oraz opisano sposób ich osiągnięcia.

Opis celu badawczego	Opis sposobu osiągnięcia celu w pracy naukowej
Hipoteza główna. Zastosowanie narzędzi sztucznej inteligencji w planowaniu realizacji projektów i w reakcji na zmiany planów na skutek zakłóceń w wielobranżowych firmach projektowych pozwala na znaczną poprawę efektywności realizacji procesu projektowania oraz jakości realizacji projektów, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów operacyjnych	Hipoteza została w potwierdzona w środowisku użytkowników systemu Wayman ERP i z uwzględnieniem zidentyfikowanych ograniczeń. Przeprowadzone eksperymenty wykazały, że SI skraca czas reakcji na zakłócenia, umożliwia generowanie nowych planów w kilka – kilkanaście minut, wielokrotnie szybciej niż jest to w stanie zrobić człowiek. Badania wykazały, że SI wspiera podejmowanie decyzji na podstawie większej ilości danych niż metody manualne. Skrócenie czasu niezbędnego do podjęcia decyzji automatycznie przekłada się na oszczędności finansowe. Oznacza to potwierdzenie redukcji kosztów operacyjnych wynikających z mniejszej liczby opóźnień i błędów, nawet bez przeprowadzenia analiz finansowych, gdyż czas (roboczogodzina) jest podstawowym aktywnym wielobranżowych firm projektowych. Skrócenie czasu oznacza mniejsze koszty i występowanie oszczędności.
Hipoteza szczegółowa 1. Narzędzia SI umożliwiają automatyczne generowanie racjonalnych planów realizacji prac projektowych, dostępnych szybciej niż plany tworzone manualnie, uwzględniających alternatywne scenariusze zależne od założeń początkowych.	Hipoteza została potwierdzona. Modele SI były w stanie wytwarzać kilka wariantów planów realizacji niemal w kilkanaście minut, co stanowi istotny przełom w porównaniu z czasochłonnymi metodami manualnymi.
Hipoteza szczegółowa 2. Wdrożenie systemów wspierających decyzje opartych na SI redukuje ryzyko błędów wynikających z subiektywnych decyzji managerów i braku pełnych danych.	Hipoteza została potwierdzona. Algorytmy SI, bazując na ujednoliconych i kompletnych danych historycznych, ograniczyły ryzyko błędnych alokacji zasobów. Dzięki zastosowaniu algorytmów SI rzeczywistość managerów zmienia się ze stanu, w którym albo bardzo długo oczekują na dane niezbędne do podjęcia decyzji, lub podejmują

	<p>decyzje bez wystarczających danych o sytuacji, na taką, w której manager stając w obliczu konieczności podjęcia decyzji otrzymuje od modelu SI oparte na historycznych danych i bieżącej sytuacji propozycje rozwiązań, które może poddać natychmiastowej analizie.</p> <p>W efekcie podejmowane decyzje są w krótszym czasie i z uwzględnieniem bardziej wiarygodnych danych. Nie można stwierdzić, że ryzyko błędnych decyzji zostało wyeliminowane, uprawnione jest natomiast stwierdzenie, że ryzyko błędów zostało zredukowane dzięki zastosowaniu SI, przy jednoczesnym zachowaniu możliwości podjęcia ostatecznych decyzji zarządczych przez człowieka.</p>
<p>Hipoteza szczegółowa 3. Standaryzacja danych projektowych zwiększa jakość planów generowanych przez modele SI wykorzystujące predykcję i pozwala precyzyjniej przewidywać skutki zmian i zakłóceń.</p>	<p>Hipoteza została potwierdzona. Wprowadzenie do modelu SI danych ze słowników zadań (USD), w szczególności stosowanie mediany alokacji godzinowej jako parametru wejściowego zwiększyło stabilność i trafność prognoz budżetowych. Modele były w stanie przewidywać konsekwencje zakłóceń z większą precyzją niż tradycyjne metody i w zgodzie z historycznymi zapisami z realizacji projektów.</p> <p>Sytuacje, w których manager dokonywał oceny prognozowanej pracochłonności w oparciu o trudno weryfikowalne subiektywne deklaracje pracowników zostały wyeliminowane. Połączenie danych w procesie segmentacji przy pomocy unikalnego identyfikatora USD zwiększyło jakość i precyzję planów generowanych przez SI. Model SI odnosząc się do mediany może korygować nieracjonalne prognozy projektantów. Funkcjonalność ta, pozostawia pole do dalszych udoskonaleń procesowych, na przykład poprzez automatyczne notyfikacji zmian prognoz przez SI z poziomu systemu ERP do odpowiedzialnego za planowanie inżyniera.</p>
<p>Hipoteza szczegółowa 4. Nowe rozwiązania oparte na SI powinny być intuicyjne i postrzegane przez użytkowników jako przydatne, co wpłynie na akceptację i efektywność wdrożenia, pod warunkiem zachowania decyzyjności menedżerów.</p>	<p>Hipoteza została potwierdzona. Badania ankietowe wykazały wysoką akceptację użytkowników dla systemów SI, o ile pozostawiają one ostateczną decyzję po stronie człowieka. Funkcjonalności wdrożone w systemie Wayman wspierały proces decyzyjny, nie zastępując go, co zwiększyło zaufanie użytkowników.</p>

Tabela 20: Zestawienie celów badawczych i sposobów ich osiągnięcia.

9.3. EFEKT NAUKOWY

Na podstawie przeprowadzonych badań osiągnięto szereg efektów naukowych, które stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy w obszarze cyfryzacji procesów projektowych oraz zastosowania sztucznej inteligencji w zarządzaniu projektami inżynierskimi, szczególnie w dziedzinie inżynierii mechanicznej.

Pierwszym istotnym osiągnięciem jest potwierdzenie możliwości integracji narzędzi sztucznej inteligencji w procesach planowania projektowego w wielobranżowych firmach inżynierskich. Wyniki badań empirycznych jednoznacznie wskazują, że zastosowanie rozwiązań opartych na SI pozwala na usprawnienie procesów planistycznych, zwiększenie efektywności operacyjnej oraz ograniczenie ryzyka wynikającego z nieprzewidywalności i złożoności projektów. Stanowi to istotny wkład zarówno w rozwój inżynierii mechanicznej, jak i w doskonalenie metod zarządzania projektami.

Kolejnym ważnym efektem naukowym jest wykorzystanie mediany alokacji godzinowej jako kluczowego parametru predykcyjnego w procesach estymacji budżetu oraz obciążenia pracowników. Wybór mediany, jako bardziej odpornej na wartości odstające niż średnia arytmetyczna, pozwolił na uzyskanie stabilniejszych i bardziej wiarygodnych prognoz, co ma istotne znaczenie dla precyzyjnego planowania zasobów w projektach.

Trzecim istotnym efektem naukowym jest udokumentowanie wpływu standaryzacji danych projektowych na zwiększenie jakości predykcji oraz odporności planów na zakłócenia. Standaryzacja zadań poprzez wprowadzenie do modelu SI danych ze słowników dokumentów/działań USD umożliwiła spójne odwzorowanie procesów projektowych i stanowiła podstawę dla budowy bardziej wiarygodnych rezultatów działania zewnętrznych modeli predykcyjnych opartych na SI. Jest to szczególnie istotne osiągnięcie, gdyż proces segmentacji danych może być realizowany pod pełną kontrolą firmy projektowej i stanowić o jej przewadze konkurencyjnej i bardziej efektywnym wykorzystaniu zewnętrznych modeli SI.

Ważnym efektem naukowym z perspektywy wielobranżowych firm projektowych jest fakt wykazania możliwości generowania alternatywnych planów realizacji w czasie zbliżonym do rzeczywistego, co otwiera drogę do dynamicznego dostosowywania się organizacji do zmieniających się warunków otoczenia. Jest to efekt nowatorski, o dużym znaczeniu zarówno praktycznym, jak i teoretycznym, ponieważ umożliwia praktyczne wdrażanie adaptacyjnego podejścia do zarządzania projektami w środowiskach wysokiej zmienności.

Finalnie za efekt naukowy należy uznać określenie czynników ludzkich i organizacyjnych warunkujących akceptację narzędzi SI w praktyce. W szczególności badania wykazały, że kluczowe znaczenie mają: zachowanie decyzyjności menedżerów, intuicyjność interfejsów oraz transparentność działania algorytmów. Czynniki te determinują poziom zaufania użytkowników do systemu oraz ich gotowość do adaptacji nowych technologii w środowisku projektowym.

9.4. OGRANICZENIA, ZAŁOŻENIA I UZASADNIENIE PRZYJĘTYCH DECYZJI BADAWCZO-WDROŻENIOWYCH

Celem rozprawy było przede wszystkim rozwiązanie opisanego w rozdziale szóstym problemu praktycznego w realnym środowisku wielobranżowych firm inżynierskich pracujących w systemie Wayman poprzez wytworzenie nowych narzędzi pozwalających na zwiększenie efektywności realizacji procesu planowania prac projektowych, a pośrednio także procesu planowania, przy zastosowaniu modeli SI. W trybie doktoratu wdrożeniowego nadrzędna jest wartość wdrożeniowa, stabilność i akceptowalność rozwiązania w organizacji, a nie pełna neutralność eksperymentalna. Poniżej przedstawiono, w jaki sposób uwzględniono kluczowe ryzyka metodologiczne oraz dlaczego – w danych warunkach – przyjęto taki, a nie inny plan postępowania.

9.4.1. Problem doboru próby i potencjalna stronniczość ankiety

Świadomym założeniem od samego początku było rekrutowanie próby ankietowej głównie w ekosystemie Wayman (kanały własne, użytkownicy i firmy zainteresowane tym rozwiązaniem, czytelnicy bloga, potencjalni użytkownicy systemu). Jest to próba celowa, projektowana pod faktycznych i docelowych użytkowników nowych modułów systemu Wayman, które zostały wytworzone w ramach prac badawczych i wdrożeniowych. W konsekwencji wnioski z ankiet odnoszą się przede wszystkim do populacji użytkowników Wayman i firm o zbliżonych profilach. Uogólnianie na cały rynek wymagałoby odrębnego, kosztownego i organizacyjnie trudnego badania poza tym ekosystemem, co wykraczało poza cel i ramy doktoratu wdrożeniowego. Uzasadnieniem dla przyjętego podejścia jest fakt, że w toku realizacji badań i prac wdrożeniowych priorytetem było uzyskanie informacji od grup decydujących o sukcesie nowego produktu jakim są nowe moduły systemu Wayman i gotowych do natychmiastowego ich wykorzystania obecnych lub potencjalnych użytkowników.

9.4.2. Podejście do definicji celów i hipotez

W pracy priorytetowo potraktowano pozyskiwanie opinii użytkowników końcowych, projektowanie, wytwarzanie nowych narzędzi i modułów systemu Wayman oraz ich implementację przy zapewnieniu użyteczności organizacyjnej. W związku z tym brak pełnej formalizacji hipotez ilościowych na danych operacyjnych pre/post był świadomym założeniem. Wyniki pozyskane z ankiet wspierają kierunek zmian, ale nie zastępują wielomiesięcznych pomiarów panelowych w produkcji, jest to konsekwencja przyjętego podejścia, które jest, w rzeczywistości realizacji projektów w działających na rynku firmach, jedynym możliwym do wykonania scenariuszem. Należy także pamiętać, że badania realizowano w środowisku funkcjonującej na rynku firmy Wayman, realizującej projekty komercyjne i współpracującej z wielobranżowymi firmami projektowymi, które przetwarzają dane wrażliwe, do których dostęp jest obwarowany klauzulami zachowania poufności. Dodatkowym ograniczeniem były polityki dostępu i

priorytety biznesowe oraz harmonogramy realizacji projektów. W trybie wdrożeniowym ważniejsze było dostarczenie działającego rozwiązania o potwierdzonej akceptacji użytkowników niż zamrożenie organizacji pod rygor eksperymentu, co nie było nigdy realnym założeniem.

9.4.3. Ograniczenia II fazy eksperymentalnej

W fazie eksperymentalnej II świadomie skupiono się na skutecznej, bezpiecznej integracji i wymianie danych pomiędzy systemem Wayman i modelem SI (eksport–SI–import). Integracja miała przebiegać w taki sposób, by możliwe było przeprowadzenie oceny eksperckiej wyników oraz pomiarów skali oszczędności zgodnie z przyjętymi założeniami. Świadomie założono, że faza eksperymentalna nie będzie polegała porównaniu do innych niż manualne metod pozwalających na generowanie alternatywnych planów realizacji projektu. Powyższe założenie wynikało na wprost z faktu, że środowisko obecnych i potencjalnych użytkowników systemu w praktyce swoich działań ograniczało się zastosowania metod manualnych, arkusza kalkulacyjnego lub ewentualnie macierzy obciążenia zasobów. Historyczne dane zawierały przykłady manualnych zmian planu, a realia pracy firm projektowych nie pozwalały na akceptację działań polegających na kontrolowalnym przeplanowaniu projektów w toku ich realizacji przy użyciu innych heurystyk, gdyż działania takie mogłyby znacząco zakłócić realizację pracy projektowej, a na dostęp do danych o bieżącej realizacji projektów nie wyraziliby zgody przedstawiciele inwestorów.

9.4.4. Utylitarny charakter oceny zewnętrznych dostawców SI

Przedstawiony w rozdziale 8.4 proces wyboru zewnętrznego dostawcy modelu SI i mocy obliczeniowej przeprowadzony został w taki sposób, że kryteria wyboru akcentowały użyteczność w organizacji (czas generowania nowego planu, bezpieczeństwo, stabilność, wsparcie, koszty i prostotę integracji), a nie zmierzoną w warunkach laboratoryjnych przewagę techniczną jednego rozwiązania nad drugim. Takie podejście było świadomym założeniem, od samego początku w zgłoszeniu aplikacyjnym do Szkoły Doktorskiej Wdrożeniowej Politechniki Gdańskiej w 2021 roku wskazano bezpośrednio jako dostawcę modelu SI firmę IBM i rozwiązanie IBM Watson. Założenie to wynikało z dogłębnego zrozumienia organizacyjnych i ekonomicznych podstaw funkcjonowania wielobranżowych firm inżynierskich. Poziom rentowności firm zajmujących się projektowaniem powoduje, że wszelkie koszty stałe funkcjonowania firmy są postrzegane jako istotne elementy ryzyka. Budowa rozwiązania integrującego usługę zewnętrznego dostawcy z funkcjonalnością już używanego w wielobranżowych, inżynierskich firmach projektowych systemu Wayman pozwala na lepszą kontrolę kosztów i ponoszenie ich w sytuacjach, w których jest to zdaniem użytkownika uzasadnione i racjonalne. Dodatkowo zastosowanie API umożliwia użytkownikowi końcowemu dokonanie samodzielnego wyboru dostawcy mocy obliczeniowej i modelu SI. W tym kontekście omówiony w rozdziale 8.4 sposób wyboru dostawcy i

mające charakter decyzyjno-wdrożeniowy zestawienie, mimo, że nie jest pełnym rankingiem badawczym modeli SI w identycznych warunkach testowych, to stanowi wartościowy przykład dla użytkowników końcowych wytworzonych w ramach doktoratu wdrożeniowego nowych narzędzi, którzy być może będą stali w obliczu decyzji o wyborze alternatywnej dostawcy SI.

9.4.5. Ograniczenia związane z powtarzalnością badań i transparentnością techniczną

Przedstawiając zarówno prace badawcze jak i wdrożeniowe dołożono wszelkich starań by w jak najszerszym zakresie zapewnić możliwość powtórzenia przeprowadzonych badań przez niezależne grono badaczy. Należy mieć jednak na uwadze aspekty znajdujące się poza kontrolą zarówno doktoranta jak i firmy Wayman. Ograniczeniem jest fakt korzystania z zewnętrznych modeli o zamkniętej specyfikacji i ewoluujących wersjach. Sektor dostawców modeli SI rozwija się na tyle gwałtownie, że już w trakcie realizacji badań istniały obawy, że zewnętrzne modele SI przestaną być dostępne lub pojawią się nowe, bardziej skuteczne modele SI pochodzące od innych, nieznanymi wcześniej dostawców. Powyższe fakty sprawiły, że zapewnienie pełnej powtarzalności badań jest zależne od czynników w części znajdujących się poza kontrolą doktoranta. Należy jednak podkreślić, że nowo wytworzone w ramach prac wdrożeniowych narzędzia pozwalają na łatwą konfigurację parametrów integracji z zewnętrznym modelem SI, a wszelkie szczegóły dotyczące ustawień i konfiguracji, które nie są objęte tajemnicą przedsiębiorstwa, takie jak na przykład klasy i metody stosowane w kodzie źródłowym systemu Wayman, są szczegółowo przedstawione w pracy. W trakcie prac badawczych i wdrożeniowych priorytetem była zgodność z dokumentacją i polityką dostawcy SI i ochroną tajemnicy firmy Wayman, natomiast w publikowalnym zakresie podano informacje wystarczające do zrozumienia architektury i przebiegu procesu.

9.4.6. Ograniczenia wynikające z aspektów prawnych, etycznych i bezpieczeństwa

W rzeczywistości dane operacyjne i projektowe firm podlegają ograniczeniom prawnym i kontraktowym co jest uregulowane nie tylko w powszechnych przepisach RODO, ale także w zawartych umowach, często dotyczących podmiotów o strategicznym znaczeniu dla interesu państwa. Konsekwencją takiego stanu rzeczy były ograniczenia transferu i udostępniania danych, a także możliwości ich szczegółowego opisu w pracy. Część procesów przetwarzania danych została zanonimizowana lub opisana na bardzo ogólnym poziomie uniemożliwiającym identyfikację firm, projektów jak i parametrów projektowanych obiektów. Powyższe świadome założenia wynikały z konieczności zapewnienia ochrony danych i zapewnienie ciągłości operacyjnej firm biorących udział

pracach badawczych i wdrożeniowych, które miały pierwszeństwo przed pełną transparentnością badawczą.

9.5. PODSUMOWANIE OSIĄGNIĘTYCH CELÓW BADAŃ

Postawione w rozdziale 6 hipotezy zostały potwierdzone, a cele badawcze zrealizowane. Najistotniejszym efektem naukowym pracy jest wykazanie, że połączenie digitalizacji procesów projektowych ze sztuczną inteligencją nie tylko zwiększa efektywność i obniża koszty, ale także umożliwia tworzenie nowych planów projektowych w czasie krótszym niż przy użyciu metod manualnych, co stanowi znaczący postęp w obszarze planowania realizacji prac projektowych przez inżynierów.

Należy jednak z zachowaniem ostrożności badawczej podchodzić do zaprezentowanych w pracy wyników oraz ze świadomością ich ograniczeń, co jest szczególnie istotne w świecie, w którym przekaz marketingowy, ukierunkowany na promocję nowych rozwiązań, może zakłamywać przedstawione wyniki i osiągnięcia naukowe. Wnioski ilościowe oparte na ankietach należy interpretować jako charakterystykę użytkowników i firm w ekosystemie Wayman, ewentualnie firm bardzo dobrze wpisujących się w definicję potencjalnego użytkownika systemu Wayman, a nie całego rynku wielobranżowych firm projektowych lub jeszcze szerszego spektrum firm inżynierskich realizujących i planujących projekty. Należy także wskazać, że wnioski o przewadze SI przedstawione w pracy mają status wdrożeniowo-operacyjny (użyteczność, akceptacja, wykonalność), a nie definitywnego dowodu technicznej przewagi. Nie mogą być dowodem na to, że każda firma używająca nowych rozwiązań zanotuje zyski. Ich osiągnięcie związane jest z konsekwentnym przygotowywaniem danych, stosowaniem USD i świadomością użytkowników. Odchodząc od kwestii przyszłych zysków, można przyjąć za obowiązujący uproszczony cel doktoratu wdrożeniowego, jakim jest wytworzenie i dostarczenie nowych, nieistniejących wcześniej rozwiązań opartych na SI, które zostaną wykonane zgodnie z wymogami środowiska produkcyjnego i będą działały w sposób akceptowalny dla użytkowników końcowych, rozwiązując ich istotne problemy. W tym kontekście, ze świadomością istnienia rozpoznanych ograniczeń metodologicznych, należy uznać, że przedstawiony w pracy reżim dowodowy jest zgodny z celem i zadowalający.

Zidentyfikowane ograniczenia nie przekreślają osiągniętych rezultatów, ale wyznaczają plan dalszych prac badawczych, weryfikacji wyników i wyjścia poza ekosystem użytkowników systemu Wayman. Warte rozważenia kolejne kroki wdrożeniowe dotyczą głównie integracji opracowanego rozwiązania z zewnętrznymi modelami SI innych dostawców, co samo w sobie nie jest interesującym zagadnieniem badawczym, jednak rodzi potencjał na przyszłe badania porównawcze skuteczności różnych modeli zewnętrznych.

10. IMPLEMENTACJA WYNIKÓW BADAŃ W PRZEDSIĘBIORSTWIE

10.1. Cel działań wdrożeniowych

Celem prac wdrożeniowych realizowanych w firmie Wayman, a pośrednio w społeczności wielobranżowych inżynierskich firm projektowych, w tym firm z branży okrętowej, było umożliwienie praktycznego użycia narzędzi opartych na SI w wybranych procesach zachodzących w ramach realizacji procesu projektowania w celu zwiększenia efektywności planowania prac projektowych i samego procesu projektowania. Istotą doktoratu wdrożeniowego było osiągnięcie celów naukowych i użytecznych, osiągnięto je między innymi dzięki zaangażowaniu społeczności inżynierów mechaników i użytkowników systemu Wayman w prace badawcze, dzięki czemu działania wdrożeniowe ukierunkowane były na zaspokojenie zidentyfikowanych w trakcie badań potrzeb i wyzwań w sposób uwzględniający specyfikę użytkowników systemu i pracowników firm inżynierskich.

Bezpośrednim celem działań wdrożeniowych w kontekście zwiększenia efektywności procesu projektowego było skrócenie czasu przygotowania nowego wariantu planu realizacji prac projektowych, którego wytworzenie wynika z zakłóceń i zmian uniemożliwiających realizację planu pierwotnego. Przedstawione w rozdziale ósmym badania zawartości baz danych użytkowników systemu Wayman przedstawiają wybrane, przykładowe konsekwencje zwłoki w przygotowaniu nowych planów.

Zakładając, że zaburzeń w procesie projektowym nie da się uniknąć, skoncentrowano się na skróceniu czasu reakcji na zaburzenia. Krótszy czas występowania zaburzenia zmniejszy straty i zminimalizuje negatywne następstwa dla budżetu, terminu i jakości. Osiągnięcie wspomnianego celu wymagało stworzenia w toku działań wdrożeniowych nowych narzędzi i modułów w systemie Wayman, które zostały udostępnione użytkownikom systemu Wayman, co także przyczyniło się do zwiększenia efektywności procesu planowania i realizacji projektu.

W wyniku opracowania narzędzia do segmentacji i klasyfikacji danych pozwalającego na łączenie ręcznie stworzonych zadań z elementami słownika USD, możliwe było wytworzenie modułu wspierającego określanie budżetów zadań na etapie planowania poprzez zwiększenie jakości danych. Implementacja OpenAI API do systemu Wayman pozwoliła na łatwą implementację narzędzia opartego na SI przez użytkowników systemu ERP, w celu zwiększenia efektywności realizacji procesu planowania pracy projektowej i procesu projektowania, co było nadrzędnym celem wdrożenia. Podczas realizacji doktoratu wdrożeniowego, w wyniku prowadzonych prac badawczych podejmowane były działania wdrożeniowe, które zostały opisane w niniejszym rozdziale.

10.2. KONTEKST ORGANIZACYJNY

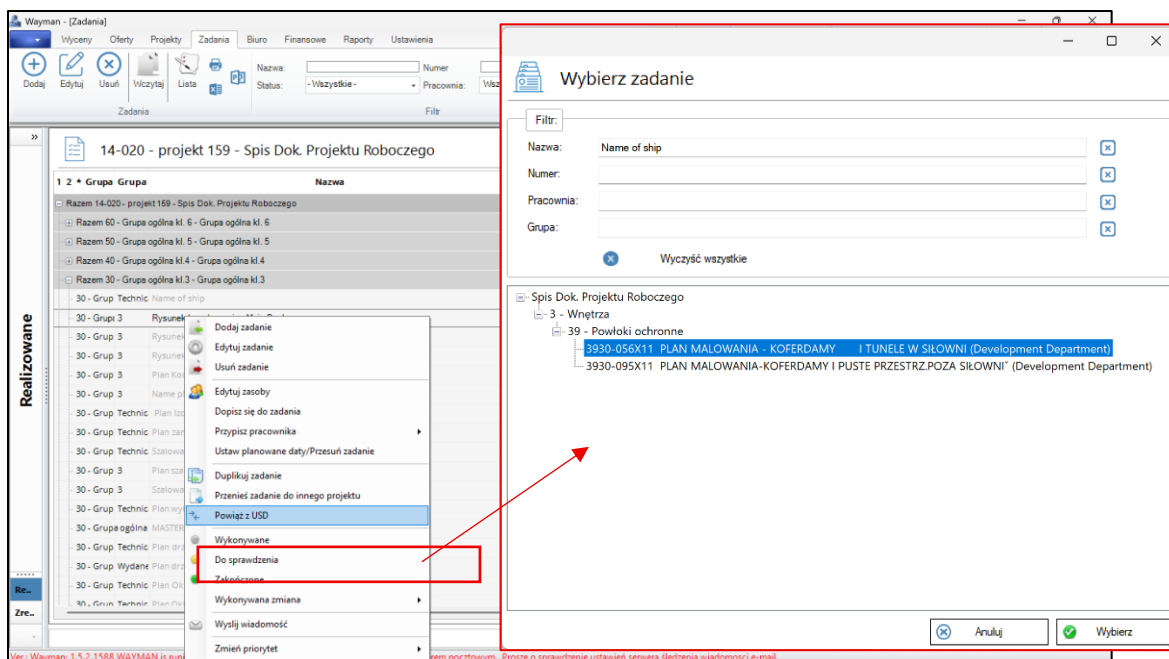
Firma Wayman Sp. z o.o., w której prowadzone są prace wdrożeniowe jest przedsiębiorstwem informatycznym zajmującym się wytwarzaniem i wdrażaniem systemu informatycznego wspomagającego funkcjonowanie wielobranżowych firm projektowych. Prace wdrożeniowe były w związku z tym realizowane bezpośrednio w firmie Wayman sp. z o.o. gdzie polegały one na wytwarzaniu nowych modułów i funkcjonalności systemu Wayman, oraz pośrednio w biurach projektowych, które są końcowymi użytkownikami systemu Wayman i które przy pomocy wytwarzanych funkcjonalności i nowych modułów dążą do zwiększenia efektywności realizowanych procesów, z których proces projektowania jest procesem głównym, a jego istotną częścią jest proces planowania pracy projektowej i proces zmian planu pracy w reakcji na zaburzenia.

10.3. PRZEDMIOT WDROŻENIA

Przedmiotem prac wdrożeniowych było wytworzenie nowych funkcjonalności i ich wprowadzenie do użycia u użytkowników końcowych użytkowników systemu Wayman. Wprowadzenie do użycia wytworzonych rozwiązań jest także nazywane potocznie „wdrożeniem”, oba działania, zarówno realizowane w firmie Wayman Sp. z o.o. (wytworzenie nowych modułów systemu) jak i realizowane w firmach używających systemu Wayman tworzą zbiór działań wdrożeniowych realizowanych w toku doktoratu wdrożeniowego. Realizacja badań naukowych i prac wdrożeniowych była ukierunkowana zarówno na wypracowanie wniosków i rozwiązań dedykowanych celom wdrożenia bezpośredniego i pośredniego.

10.3.1. Moduł ręcznej segmentacji danych

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły istotność wpływu spójności i jakości danych na efektywność działania modelu SI co doprowadziło do opracowania narzędzi badawczych służących do ręcznej i automatycznej segmentacji badań, które zostały wykorzystane w badaniach eksperymentalnych.



Rysunek 24: Widok interfejsu modułu do segmentacji ręcznej zadań poprzez powiązanie z USD.:

Moduł ręcznej segmentacji danych został uznany na obecnym poziomie akceptacji rozwiązań SI za lepiej wpisujący się potrzeby i specyfikę wielobranżowych firm projektowych i wytworzone narzędzie badawcze zostało wdrożone jako integralna część interfejsu systemu Wayman. Na rysunku 24 przedstawiono widok menu użytkownika modułu. Moduł jest wywoływany komendą dostępną pod prawym klawiszem myszki dla konkretnego zadania.

Funkcjonalność modułu sprowadza się do łączenia ręcznie utworzonych zadań z elementami uniwersalnych słowników działań i dokumentów dostępnych w systemie Wayman. Czynność łączenia jest realizowana poprzez nadanie identyfikatora USD określającego przynależność zadania do elementu słownika. Z poziomu interfejsu użytkownika odbywa się to poprzez wskazanie właściwego zadania w słowniku. Identyfikator USD jest elementem jednoznacznie definiującym zadania i dzięki jego zastosowaniu model SI dysponuje bardziej jednorodnymi zbiorami danych wejściowych (uczących i walidujących).

W związku z tym, że nowy moduł może być używany w toku normalnych codziennych prac projektowych, przy okazji kontaktu użytkownika z ręcznie zdefiniowanymi zadaniami, ilość ręcznie definiowanych zadań, które nie są powiązane z żadnymi elementami USD może zostać szybko ograniczona w każdym z realizowanych projektów.

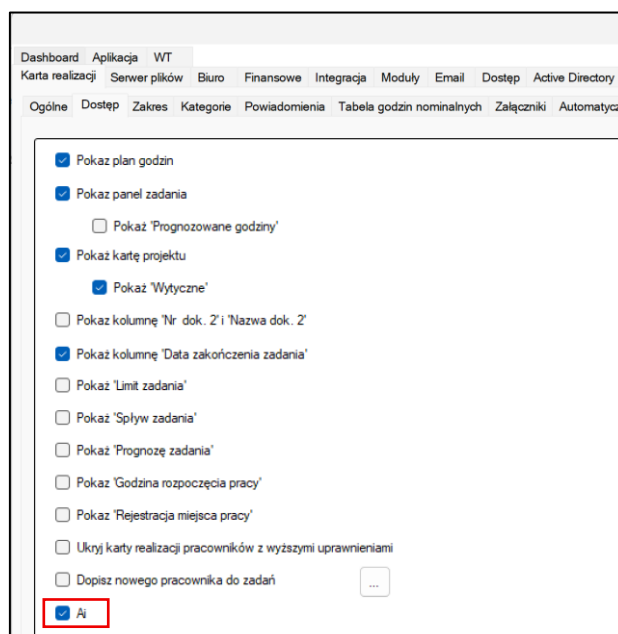
Dodatkową zaletą wynikającą z realizacji prac związanych z segmentacją danych, realizowanych przy użyciu nowego modułu, jest możliwość zastosowania podpowiedzi systemowych w postaci mediany budżetu godzinowego historycznie realizowanych zadań w celu ułatwienia planowania i

określania budżetów godzinowych w trakcie planowania i realizacji projektu, co zainicjowało rozwój kolejnych, nowych funkcjonalności systemu Wayman opisanych dalej w punkcie 10.3.3..

10.3.2. Moduł zapisu danych uczących i walidujących

W procesie realizacji badań eksperymentalnych przygotowanie zbiorów danych uczących i walidujących zostało zrealizowane przy pomocy pracochłonnego przeglądu i analizy logów zdań w poszczególnych projektach. Było to zadanie pracochłonne i wymagające dużej skrupulatności oraz obarczone ryzykiem popełnienia błędu przez człowieka, gdyż początkowe założenie dotyczące procesu gromadzenia danych wejściowych do modułu SI zostało zdefiniowane w taki sposób, że każda zmiana planowanego terminu realizacji zadań mogła wskazywać na zapisanie kolejnej wersji planu krótkoterminowego. W rzeczywistości prowadzona w toku badań równoległa analiza zapisów uwag do zadań częstokroć dowodziła, że zmiana planowanej daty była jedynie zaburzeniem planu krótkoterminowego, a nie jego nową wersją.

Powyżej opisane obserwacje były inspiracją do wprowadzenia narzędzia przypominającego użytkownikowi o możliwości zapisania kolejnej porcji danych wejściowych, czyli zestawu danych na temat sytuacji projektów przed i po zamianie planu krótkoterminowego. Nowa funkcjonalność w systemie Wayman została dodana jako opcja w ustawieniach systemu, co pokazano na rysunku 25.

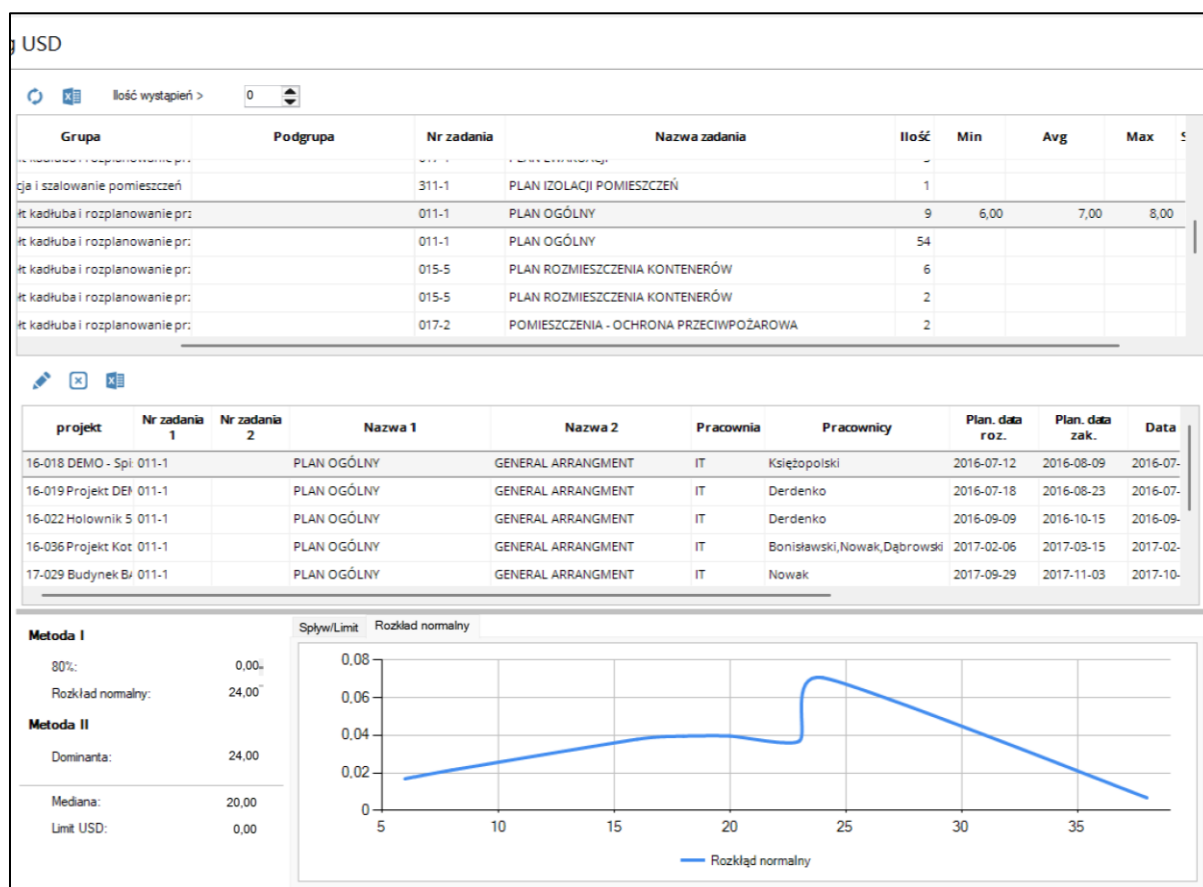


Rysunek 25: Panel ustawień systemu Wayman z opcją włączenia modułu AI.

Po uruchomieniu w ustawieniach funkcjonalność działa w taki sposób, że w trakcie edycji przez użytkownika planu krótkoterminowego moduł przechwytuje każde zdarzenie polegające na zapisaniu zmian w planie i zadaje użytkownikowi pytanie: „Czy *chcesz* zapisać *obecną* wersję *planu*”

10.3.3. Moduł gromadzenia i przetwarzania danych historycznych

Na rysunku 27 przedstawiono widok interfejsu narzędzia służącego do zarządzania historycznymi danymi statystycznymi.



Rysunek 27: Interface modułu gromadzenia i przetwarzania danych historycznych.

W konsekwencji wytworzenia narzędzia służącego do segmentacji danych w bazie danych systemu Wayman dodano nowe tabele, w których zapisywane były historyczne dane na temat realizacji zadań powiązanych ze sobą identyfikatorem USD. Gromadzone dane pozwoliły na stworzenie narzędzia służącego do generowania danych historycznych i zarządzania danymi.

Przedstawiony na rysunku interfejs podzielony jest na trzy części, w górnej znajduje się lista elementów USD, w środkowym, interaktywnym oknie znajduje się edytowalny zbiór wszystkich zadań posiadających ten sam identyfikator USD. W oknie tym można odrzucić zadania stanowiące anomalie w zbiorach danych, na przykład poprzez usunięcie zadań z wartościami skrajnymi. W dolnej części znajdują się wyliczone metodami statystycznymi wartości rozkładu normalnego i mediany oraz informacje o zapisanych w słowniku USD limitach.

Moduł znajduje swoje dodatkowe zastosowanie w momencie definicji harmonogramów i wczytywaniu nowych zadań ze słowników, kiedy system Wayman może podpowiadać wartości limitów

godzinowych dla zadań będących elementami słowników w oparciu o historyczną alokację i dane statystyczne.

10.3.4. Moduł integrujący Wayman i OpenAI przy pomocy API

Na rysunku 20 zobrazowano, w jaki sposób w interfejsie systemu Wayman dodano ikonę eksportu danych wejściowych do modelu SI OpenAI (zielona ikona AI) oraz ikonę służącą do wczytania pliku CSV zawierającego nowy wariant planu krótkoterminowego utworzonego przy pomocy modelu SI. W toku prac wdrożeniowych, w finalnej, przygotowanej do wdrożenia w publicznie dostępnej dla użytkowników wersji systemu Wayman zachowano istniejące ikony, ale zmieniono całkowicie kryjącą się pod nimi funkcjonalność. Podstawową zmianą było wprowadzenie JSON jako formatu wymiany danych z modelem SI dostarczonym przez Open AI.

Czarna ikona w rozwiązaniu finalnie wdrożonym służy do wywołania narzędzia uczącego, przygotowywane są przy jej użyciu dane wejściowe uczące i walidujące dla modelu SI. Ikona zielona służy do wywołania modułu generowania nowej wersji planu krótkoterminowego, którego interfejs jest pokazany na rysunkach 28, 29 i 30. Na rysunku 28 obszar interfejsu, na którym widoczna jest główna zakładka modułu o nazwie „Chat”, zawiera komplet informacji i opcji przekazania danych do modelu SI przez OpenAI API.

Użytkownik może wybrać z jakim modelem głównym API ma go połączyć z listy dostępnych modeli, zaznaczyć chęć przekazania plików wsadowych danych uczących i walidujących oraz czy chce przekazać klasę zapisaną w języku C# obejmującą metody dostępne w systemie Wayman i służące użytkownikowi do ręcznego tworzenia nowych wersji planu. Istotnym elementem funkcjonalności OpenAI API jest możliwość określenia generalnego promptu systemowego określającego w sposób zrozumiały dla człowieka systemowe zasady wykonania nowego wariantu planu krótkoterminowego. Jednocześnie moduł wdrożony w systemie Wayman umożliwia zdefiniowanie dodatkowego promptu użytkownika, który może zawierać specyficzne i wynikające z partykularnych potrzeb biznesowych i konkretnej sytuacji wymagania lub ograniczenia np.: *„wymaganie pełnego obciążenia pracą działu automatyki”*.

Plan

Chat Pliki przykładów

Input:

Model: Dołącz klasę obliczania godzin Dołącz pliki przykładów

Prompt użyj gpt-5 gpt-5-mini gpt-4.1 gpt-4.1-mini gpt-4o gpt-4o-mini

Jesteś planistą. Twój zadaniem jest KOREKTA dat planowanych na podstawie danych wejściowych.

Zasady tworzenia planu:

- Planuj osobno dla każdego 'login' (pracownika). Nie przenoś godzin między pracownikami.
- Definicja pojemności dnia: $daily_capacity = \min(workday_hours(dzień), 8h)$. Jeśli $workday_hours$ brak: 8h w Pn-Pt, 0h w Sb-Nd. Dni z $workday_hours = 0$ są niedostępne.
- INWARIANT NIEPRZEKRACZALNY: dla każdego (login, data) SUMA godzin wszystkich zadań $\leq daily_capacity$ (także w dniach start i end). Nigdy nie przydzielaj $> daily_capacity$ i nigdy nie przydzielaj godzin w dniu z $daily_capacity = 0$
- Ograniczenie startu: nie planuj zadania wcześniej niż jego wejściowe Employee_Planned_Start_Date (jeśli podano).
- Priorytety: najpierw Project_Priority, potem Stage_Priority, potem Task_Priority remisy rozstrzygaj kolejnością wejścia.
- Distribution_Type/Name: jeśli wymaga ciągłości (np. ciągłość/continuous/focus), rozumiej ją jako KOLEJNE DOSTĘPNE DNI PRACY (nie kalendrzowe). Weekendów/świąt nie 'nadrabiaj' podwójnymi dniami.

Algorytm przydziału (per login) :

- 1) Pomiń zadania z Employee_Limit_Hours = 0 (nie generuj dla nich update). Pozostałe posortuj wg priorytetów i EarliestStart..EarliestEnd
- 2) Iteruj po KOLEJNYCH DOSTĘPNYCH DNIACH PRACY od najwcześniejszego możliwego startu zadań.
- 3) Na każdy dzień ustaw remaining = daily_capacity i przydzielaj godziny KOLEJNO przez zadania wg priorytetów

- przydział = $\min(remaining, pozostałe_godziny_zadania)$ zmniejsz remaining

Key	Project_ID	Task_Id	Task_Planned_Start_Date	Task_Planned_End_Date	Task_Limit	Task_Status	Login	Task_Employee_ID	Employee_Planned_Start_Date	Employee_Planned_End_Date
14606	351	19799	2025-09-20	2025-10-04	32.0		kjackowiak	14606	2025-09-21	2025-09-21
13777	530	29239	2025-09-20	2025-10-04	40.0	Wykonywane	kjackowiak	13777	2025-09-23	2025-09-30
13781	530	29241	2025-09-20	2025-10-04	20.0	Wykonywane	kjackowiak	13781	2025-09-21	2025-09-21
.....	---	-----	-----	--		-----	-----

Rysunek 28: Fragment interfejsu modułu generowania nowych wariantów planu krótkoterminowego.

W zakładce „Pliki przykładów” znajdują się linki do plików zapisanych w formacie CSV zawierających czytelne dla człowieka zestawy danych walidujących i uczących. Wygląd interfejsu nowego modułu Wayman w tym obszarze przedstawiono na rysunku 29.

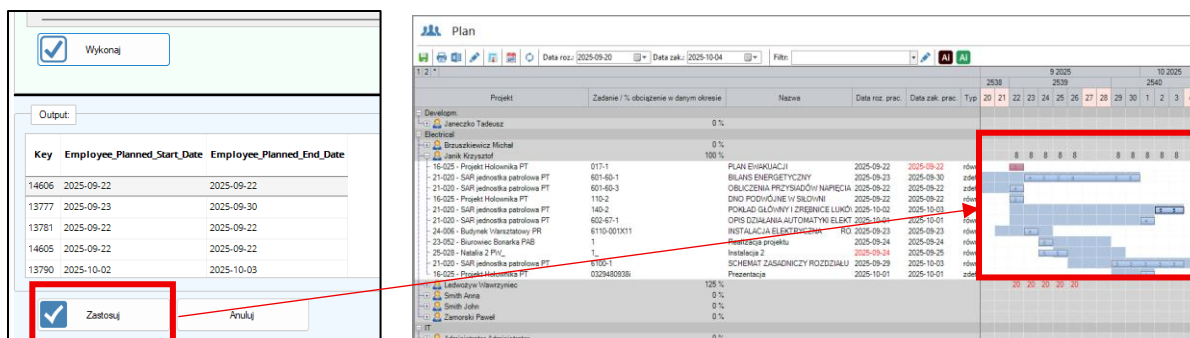
Plan

Chat Pliki przykładów

Before	After
C:\Users\pb\OneDrive\PG\1 Aplikacja\Debug\examples\kjackowiak_2025_09_21_Before.csv	C:\Users\pb\OneDrive\PG\1 Aplikacja\Debug\examples\kjackowiak_2025_09_21_After.csv
C:\Users\pb\OneDrive\PG\1 Aplikacja\Debug\examples\murbanski_2025_09_17_Before.csv	C:\Users\pb\OneDrive\PG\1 Aplikacja\Debug\examples\murbanski_2025_09_17_After.csv

Rysunek 29: Fragment interfejsu modułu zawierające lokalizację plików danych uczących i walidujących zapisanych w formacie CSV.

W dolnej części formularza nowego modułu służącego do generowanie nowej wersji planu umieszczono pole, w którym wizualizowana jest odpowiedź modelu SI w celu jej weryfikacji i zatwierdzenia przez użytkownika. Wygląd dolnej części formularza pokazano na rysunku 30, na którym widać, że po naciśnięciu przycisku „Wykonaj”, w dolnym polu system generuje listę nowych terminów dla poszczególnych zadań wybranego pracownika. Manager, w tym przypadku kierownik pracowni branżowej, może wybrać przycisk „Zastosuj” i zatwierdzić nową wersję planu jako obowiązującą dla pracowni branżowej i wybranego pracownika.



Rysunek 30: Fragment interfejsu modułu generowania planu z wizualizacją stanu planu krótkoterminowego po zastosowaniu zmian wygenerowanych przez model SI i zaakceptowanych przez użytkownika.

Elementem istotnym dla ewentualnego odwzorowania przeprowadzonych badań jest treść prompt przekazywanego do OpenAI API z systemu Wayman. Rozwiązanie zostało skonstruowane w ten sposób, że możliwy do zdefiniowania jest prompt systemowy obejmujący kluczowe reguły dokonania modyfikacji planu realizacji projektu, oraz dodatkowy prompt użytkownika, który może posłużyć do określenia specyficznych dla danej sytuacji warunków dodatkowych. Taka architektura rozwiązania wynikała z zaleceń OpenAI. W toku przeprowadzonych badań użyto tylko promptu systemowego, którego treść powielono w polu promptu użytkownika. W fazie testów i badań użytko następującego promptu:

„Jesteś planerem harmonogramów. Twoim celem jest KOREKTA dat planowanych na podstawie danych wejściowych.

Zasady twarde:

- Planuj osobno dla każdego 'login' (pracownika). Nie przenoś godzin między pracownikami.
- Definicja pojemności dnia: $daily_capacity = \min(workday_hours(dzień), 8h)$. Jeśli $workday_hours$ brak: 8h w Pn–Pt, 0h w Sb–Nd. Dni z $workday_hours = 0$ są niedostępne.
- INWARIANT NIEPRZEKRACZALNY: dla każdego (login, data) SUMA godzin wszystkich zadań $\leq daily_capacity$ (także w dniach start i end). Nigdy nie przydzielaj $> daily_capacity$ i nigdy nie przydzielaj godzin w dniu z $daily_capacity = 0$.
- Ograniczenie startu: nie planuj zadania wcześniej niż jego wejściowe $Employee_Planned_Start_Date$ (jeśli podano).
- Priorytety: najpierw $Project_Priority$, potem $Stage_Priority$, potem $Task_Priority$ remisy rozstrzygaj kolejnością wejścia.

- *Distribution_Type/Name*: jeśli wymaga ciągłości (np. ciągłość/continuous/focus), rozumiej ją jako KOLEJNE DOSTĘPNE DNI PRACY (nie kalendarzowe). Weekendów/świąt nie 'nadrabiaj' podwójnymi dniówkami.

Algorytm przydziału (per login) :

1) Pomiń zadania z *Employee_Limit_Hours* = 0 (nie generuj dla nich update). Pozostałe posortuj wg priorytetów i *EarliestStart*.

2) Iteruj po KOLEJNYCH DOSTĘPNYCH DNIACH PRACY od najwcześniejszego możliwego startu zadań.

3) Na każdy dzień ustaw *remaining* = *daily_capacity* i przydzielaj godziny KOLEJNO przez zadania wg priorytetów

- przydział = $\min(\text{remaining}, \text{pozostałe_godziny_zadania})$ zmniejsz *remaining*

- jeśli *remaining* = 0 → przejdź do następnego dnia pracy

- jeśli zadanie wymaga ciągłości, rezerwuj kolejne dostępne dni WYŁĄCZNIE dla niego, aż się skończy (nadal nie przekraczaj *daily_capacity*).

4) Ustal daty *Employee_Planned_Start_Date* = pierwszy dzień z przydziałem, *Employee_Planned_End_Date* = ostatni dzień z przydziałem.

5) Minimalizuj czas trwania skracaj zakres, gdy pojemność dnia na To pozwala jeśli brakuje godzin, wydłużaj na kolejne dni pracy.

Walidacja przed zwrotem (obowiązkowa)

- Sprawdź każdy dzień Σ godzin dla tego loginu \leq *daily_capacity* ORAZ brak godzin w dniach z *daily_capacity* = 0.

- Jeśli wykryjesz naruszenie, PRZENOS nadmiar zadań o niższym priorytecie na kolejne dostępne dni i AKTUALIZUJ *Employee_Planned_End_Date*, aż inwariant będzie spełniony.

Kotwica (schemat zachowania na zbliżonych danych)

- Wejście *workday_hours* = 8 zadania dla jednego loginu 1399=32h od \geq 2025-09-09 1371=6h od \geq 2025-09-09 1397=16h od \geq 2025-09-09 1415=24h od \geq 2025-09-09 weekendy=0h.

- Oczekiwany rozkład (Σ =8h/dzień, weekend=0)

Wt 09.09 1399=8 | Śr 10.09 1399=8 | Cz 11.09: 1399=8 | Pt 12.09: 1399=8 → 1399: 2025-09-09..2025-09-12

Pn 15.09 1371=6 + 1397=2 | Wt 16.09 1397=8 | Śr 17.09: 1397=6 + 1415=2 → 1371: 2025-09-15..2025-09-15 1397: 2025-09-15..2025-09-17

Cz 18.09 1415=8 | Pt 19.09 1415=8 | Pn 22.09: 1415=6 → 1415: 2025-09-17..2025-09-22

- Wniosek nigdy nie przydzielaj 12–16h/dzień i nie przenoś godzin na weekend.”

10.4. PROCES WDROŻENIA

Proces wdrożenia podzielony został na wdrożenie bezpośrednio polegające na opracowaniu specyfikacji technicznych i wytworzeniu nowych modułów przez zespół programistów firmy Wayman. Następnie dokonano procedury testów wewnętrznych prowadzonych w środowisku testowym na ograniczonej grupie zaangażowanych w prace badawcze użytkowników Wayman.

Kolejnym krokiem było pobranie produkcyjnych baz danych od wybranych użytkowników systemu Wayman, które zostały użyte do stworzenia środowiska testowego zawierającego rzeczywiste dane produkcyjne użytkowników Wayman w celu przeprowadzenia testów i symulacji pracy na rzeczywistych danych. Wnioski i wykryte błędy zostały przekazane do zespołu programistów w celu wytworzenia pierwszej wersji produkcyjnej. Powyższe prace stanowiły także wkład własny doktoranta.

W trakcie testów pracowano cały czas tylko na modelu SI dostarczonym przez OpenAI, który został zintegrowany przy pomocy API z systemem Wayman i w pierwszej wersji produkcyjnej przeznaczonej dla użytkowników końcowych rozwiązanie jest zintegrowane z konfigurowalnym przez użytkownika płatnym kontem OpenAI API. Dzięki zastosowaniu eksportu danych za pośrednictwem JSON możliwe jest łatwe zintegrowanie danych z systemu Wayman z dowolnym innym, wybranym przez użytkownika zewnętrznym modelem SI posiadającym dedykowane API.

Kończącą fazą wdrożenia było przygotowanie materiałów informacyjnych i szkoleniowych dla użytkowników w postaci instrukcji i prezentacji szkoleniowych. Szkolenie i pierwsze użycie przez użytkowników nowych narzędzi wiązało się z przeprowadzeniem badania satysfakcji użytkowników z opracowanych rozwiązań. 85% respondentów badań ankietowych zadeklarowało zadowolenie lub wysokie zadowolenie z rezultatów użycia nowych modułów.

Użytkownicy w ankietach wskazywali na skrócenie czasu planowania, możliwość podejmowania własnych decyzji i łatwość korekty sugestii SI, prostotę i intuicyjność interfejsu oraz możliwość uzyskiwania podpowiedzi opartych na danych statystycznych dla zadań z zakresu branż, w których osoba odpowiedzialna za planowanie ma ograniczone doświadczenie lub kompetencje. Użytkownicy wskazali także na duży potencjał rozwiązania opartego na danych historycznych w obszarze

przygotowania wycen i kalkulacji, co daje potencjał na zwiększenie użyteczności i dalsze rozszerzenie funkcjonalności USD.

10.5. REZULTATY I EFEKTY WDROŻENIA

Wdrożenie opracowanych w trakcie realizacji doktoratu wdrożeniowego nowych narzędzi opartych na sztucznej inteligencji do systemu Wayman ERP przyniosło szereg wymiernych korzyści zarówno firmie Wayman, organizacjom projektowym uczestniczącym w badaniu jak i użytkownikom systemu Wayman. Rezultaty wdrożenia należy rozpatrywać zarówno w wymiarze operacyjnym, jak i funkcjonalnym, przy czym analiza rezultatów wdrożenia została oparta na danych jakościowych, statystykach systemowych oraz ocenie eksperckiej.

Integracja zewnętrznego modelu SI okazała się rozwiązaniem skutecznym, jego zastosowanie pozwoliło na znaczące skrócenie czasu potrzebnego na przeprowadzenie korekt planów krótkoterminowych w odpowiedzi na zaburzenia w przebiegu procesu realizacji projektów. Na podstawie porównania wyników generowanych przez człowieka oraz model SI (metodą ekspercką), oszacowano, że czas potrzebny na reakcję został zredukowany średnio o około 30%-40%. Skala oszczędności jest oczywiście uzależniona od sprawności użytkownika systemu Wayman, jego doświadczenia i skali zaburzeń projektu.

Obszarem, w którym odnotowano szczególnie wyraźne oszczędności czasu na skutek zastosowania modeli SI jest racjonalne obciążenie projektantów zadaniami i brak przeciążeń zasobów ludzkich. Wyniki dowiodły, że w każdym z badanych przypadków zmian planu krótkoterminowego rezultat został osiągnięty w czasie krótszym, niż czas poświęcony na wykonanie manualnie analogicznych czynności i był zgodny z wymaganiami racjonalnego obciążenia zasobów. Słabością wypracowanego rozwiązania były sporadyczne niezgodności z logiką realizacji projektu statku w planach krótkoterminowych generowanych przez model SI. Ten element nie stanowi istotnej przeszkody we wdrożeniu i praktycznym użyciu rozwiązania, gdyż jest on łatwy do wykrycia i korekty, a ekspert w zakresie projektowania jest zobowiązany zapoznać się i zatwierdzić plany generowane przez SI.

Generowanie nowych propozycji planów krótkoterminowych w krótszym czasie przekłada się na zwiększenie dostępności danych niezbędnych do podjęcia decyzji o sposobie realizacji prac projektowych i skrócenie czasu ich przygotowania, a tym samym na większą przewidywalność i bezpieczeństwo operacyjne projektów. Redukowane jest zagrożenie wystąpienia strat finansowych i opóźnień wynikających ze zwłoki spowodowanej oczekiwaniem na decyzję lub wykonywaniem zadań, które po zatwierdzeniu nowej wersji planu krótkoterminowego ulegną zmianie.

Potwierdzone wynikami ankiet realizowanych w ramach szkoleń i wdrożeń u wybranych klientów końcowych pozytywne przyjęcie nowych modułów przez użytkowników potwierdza poprawność przyjętych na podstawie przeprowadzonych badań hipotez. Bardzo ważne jest także zachowanie prostoty podejścia i brak wysokiego progu wejścia wymagającego od użytkowników wiedzy i doświadczenia z obszaru sztucznej inteligencji. Wdrożenie nowych modułów nie wymagało istotnej przebudowy istniejących struktur zarządzania projektami, ograniczając się do wprowadzenia nowych procedur dotyczących łączenia ręcznie utworzonych zadań z elementami USD, opcjonalnego zapisywania zbiorów danych wejściowych i generowania wariantów planów tworzonych przez model SI, bez zmiany głównego procesu projektowego i przy modyfikacji procesu planowania i reakcji na zaburzenia.

Dzięki zastosowaniu prostego mechanizmu segmentacji (według identyfikatora USD) możliwa była szybka implementacja bez konieczności wprowadzania zaawansowanych modeli uczenia maszynowego, które oczywiście mogą stanowić kolejne kroki rozwoju aplikacji Wayman, przy czym rozwój ten może być już realizowany w środowisku użytkowników posiadających pierwsze, pozytywne doświadczenia z użyciem SI w procesie realizacji projektów inżynierskich.

Ważnym elementem wdrożenia jest zachowanie elastyczności w zakresie wyboru dostawcy modelu SI, co jest istotnym elementem ograniczającym koszty implementacji rozwiązania i zapewniającym utrzymanie niskich kosztów eksploatacyjnych.

Należy zwrócić uwagę na ograniczenia zastosowanego w pracy naukowej podejścia, ze względu na charakter prac wdrożeniowych, ocena skuteczności miała charakter ekspercki i jakościowy. Segmentacja danych została ograniczona do klasyfikacji po identyfikatorach USD, a nie opierała się na samouczących się algorytmach. Motywacją do zastosowania takiego podejścia było skoncentrowanie ciężkości wielobranżowej pracy naukowej na zagadnieniach związanych z dyscypliną inżynieria mechaniczna, a nie informatyka techniczna.

Takie podejście pozwalało także położyć nacisk na efektywność procesu projektowania i procesu reakcji na zmiany w procesie projektowania, a nie na rozwiązania informatyczne, które generalnie traktowano jako produkty wykorzystywane do zwiększania efektywności realizowanego procesu projektowego i które były wywarane przez zespół programistów firmy Wayman według wytycznych doktoranta. Dalsze prace powinny skupić się na dążeniu do poprawy jakości planów krótkoterminowych w kontekście ich zgodności z logicznym przebiegiem procesu projektowania statków i realizacji projektów w innych branżach inżynierii, koncentrując się na praktycznych aplikacjach i wytwarzaniu rozwiązań dedykowanych dla poszczególnych sektorów przemysłu.

10.6. UWAGI DOTYCZĄCE UTRZYMANIA I DALSZEGO ROZWOJU

Realizowana w ramach doktoratu wdrożeniowego implementacja funkcjonalności opartych na sztucznej inteligencji w systemie Wayman ERP jest pierwszym krokiem dla twórców systemu i szerokiego grona użytkowników na drodze do adaptacji rozwiązań opartych na SI w codziennej pracy projektowej. Stanowi ona punkt wyjścia do dalszych działań rozwojowych, których celem jest zapewnienie trwałości uzyskanych efektów oraz ciągła adaptacja narzędzi do zmieniających się potrzeb użytkowników i otoczenia technologicznego.

Utrzymanie wdrożonych modułów zostało zabezpieczone poprzez ich integrację z głównym kodem źródłowym systemu Wayman Basic który jest podstawową linią rozwojową systemu. Oznacza to, że nowe moduły będą objęte regularnymi aktualizacjami, testami i wsparciem technicznym. Odpowiedzialność za utrzymanie kodu oraz dostosowywanie API do zmian po stronie zewnętrznych dostawców SI (w tym OpenAI) spoczywa na dedykowanym zespole programistycznym firmy Wayman, co daje użytkownikom gwarancję stabilności i szybką reakcję na zaburzenia.

Istnieje kilka możliwości równoległego prowadzenia dalszego rozwoju modułów i funkcjonalności opartych na SI w ramach systemu Wayman. Konieczne wydaje się już na tym etapie rozszerzenie i udoskonalenie obecnego, prostego, manualnego modelu segmentacji danych. Rozważyć należy także odejście od wyłącznie eksperckiej oceny jakości planów na rzecz wprowadzenia metryk ilościowych, takich jak poziom przeciążeń, liczba konfliktów zasobowych czy wskaźnik terminowości. Mimo iż w środowisku inżynierskich, wielobranżowych firm projektowych stosowanie KPI w obszarze procesu projektowania nie jest powszechne, to istnieje pole do standaryzacji w tym obszarze.

Duży potencjał drzemie także w rozbudowie modułów umożliwiających komunikację z narzędziami klasy BIM, PPM oraz innymi systemami ERP, co zwiększy interoperacyjność systemu. Ważne jest także wykonanie modyfikacji systemu Wayman w taki sposób, by ułatwić korzystanie z modeli SI, pochodzących od dowolnie wybranych dostawców, przez użytkowników bez wiedzy informatycznej. Rozważane jest także wprowadzenie funkcji, które będą dostosowywać rekomendacje planistyczne do stylu pracy i preferencji danego użytkownika lub organizacji, gdyż system Wayman stosowany jest w różnych sektorach inżynierii.

Przeprowadzone badania naukowe i prace eksperymentalne potwierdziły, że utrzymanie wysokiego poziomu zaangażowania użytkowników końcowych oraz zbieranie informacji zwrotnej z ich pracy z systemem jest kluczowym czynnikiem sukcesu dalszych etapów rozwoju. Regularne aktualizacje oparte na rzeczywistym wykorzystaniu narzędzi stanowią fundament podejścia iteracyjnego, zgodnego z ideą ciągłego doskonalenia oraz modelem cyklu PDCA.

Dzięki przyjęciu elastycznej architektury systemu i integracji z modelem SI dostarczonym przez zewnętrznego partnera (Open AI), nowe funkcjonalności mogą być wdrażane bez potrzeby instalowania lokalnych aktualizacji, co znacząco ułatwia dalszy rozwój produktu i zwiększa jego skalowalność. Możliwość szybkiego testowania nowych modułów w środowiskach rzeczywistych, z udziałem szerokiej grupy użytkowników systemu Wayman, pozwala na efektywne zbieranie danych i ich praktyczną walidację.

Dalszy rozwój prowadzony będzie w oparciu o faktyczne potrzeby klientów, przy jednoczesnym zachowaniu ścisłego związku z badaniami naukowymi i trendami technologicznymi, co gwarantuje utrzymanie konkurencyjności systemu oraz jego wysokiej użyteczności w dynamicznie zmieniającym się środowisku inżynierskim.

11. WNIOSKI

Przeprowadzone badania miały na celu zbadanie możliwości i skutków wdrożenia narzędzi cyfrowych, opartych na sztucznej inteligencji, wspierających zarządzanie procesami planowania pracy projektowej i zmian planów w reakcji na zaburzenia w wielobranżowej firmie projektowej. Na podstawie analizy problemu, projektowania rozwiązań, ich implementacji i wstępnej oceny efektywności sformułowano następujące kluczowe wnioski:

Digitalizacja wybranych procesów w firmach projektowych może realnie zwiększać efektywność i planowania i zmian planów w reakcji na zaburzenia, nawet w przypadku złożonych struktur macierzowych i środowisk wielobranżowych, o ile uwzględnione zostaną kontekstowe ograniczenia organizacyjne i kulturowe i o ile organizacja będzie dokumentować dane historyczne i prowadzić segmentację danych wejściowych.

Zastosowanie sztucznej inteligencji w procesie planowania krótkoterminowego umożliwia uzyskanie mierzalnych usprawnień – w badanym przypadku średni czas reakcji na zaburzenia w planie został skrócony o około 30%-40%, a eksperci ocenili większość planów generowanych przez SI jako równoważne lub lepsze niż plany tworzone ręcznie. Zaobserwowane, sporadyczne braki zgodności niektórych zadań z logiczną kolejnością wykonywania pracy projektowej były łatwe do zidentyfikowania i nie wynikały ze stosowania SI lecz z historycznych opóźnień w realizacji zadań nieznajdujących się na ścieżce krytycznej projektu statku.

Przeprowadzona w fazie eksperymentalnej ocena wyników prowadzona była przydatną praktycznie i wystarczającą metodą ekspercką, która jednak ogranicza w oczywisty sposób obiektywne walory poznawcze. Wraz z szerszym użyciem w środowisku użytkowników Wayman nowych modułów zasadne będzie prowadzenie dalszych badań opartych na bardziej formalnych i ilościowych metodach walidacji modeli SI na przykład z wykorzystaniem symulacji, danych historycznych i wskaźników wydajności.

Segmentacja danych oparta wyłącznie na identyfikatorze USD była wystarczająca do wstępnego wdrożenia, jednak nie wykorzystuje potencjału nowoczesnych narzędzi klasyfikacji i przetwarzania języka naturalnego. Badania eksperymentalne wykazały, że kwestie odpowiedzialności osobistej użytkowników systemu Wayman za wprowadzane dane powodują, że rezultaty segmentacji danych przy użyciu narzędzi opartych na SI były poddawane przez użytkowników drobniawej weryfikacji, co powodowało, że proces stawał się bardziej pracochłonny i mniej uzasadniony ekonomicznie. Mimo to wraz ze wzrostem świadomości i doświadczenia użytkowników należy rozważyć w kolejnych etapach rozszerzenie segmentacji o techniki uczenia maszynowego i analizy semantycznej.

Opracowane rozwiązania zostały wdrożone do produkcyjnej wersji systemu Wayman ERP, co stanowi potwierdzenie praktycznej wartości i gotowości technologicznej prezentowanych rozwiązań. System uzyskał nowe moduły wspierające decyzje planistyczne i został pozytywnie przyjęty przez użytkowników końcowych.

Rezultaty pracy wskazują na konieczność dalszego rozwoju systemów wspomagających decyzje w firmach inżynierskich, szczególnie w kierunku automatyzacji predykcji obciążeń, identyfikacji konfliktów projektowych oraz adaptacyjnych mechanizmów alokacji zasobów.

Podejście wdrożeniowe i iteracyjne okazało się skuteczne w środowisku wielobranżowych, okrętowych, inżynierskich firm projektowych, które jest zróżnicowane organizacyjnie. Może to stanowić punkt odniesienia dla podobnych działań w innych firmach z pozostałych sektorów inżynierskich, projektowych i produkcyjnych.

Zidentyfikowano bariery we wdrażaniu SI w środowisku projektowym, w tym opór przed automatyzacją, brak ustandaryzowanych danych oraz trudność w jednoznacznej ocenie skuteczności nowych rozwiązań. Przewyciężenie tych barier wymaga równoległych działań edukacyjnych, technicznych i organizacyjnych.

Praca potwierdza, że transformacja cyfrowa w firmach inżynierskich wymaga podejścia interdyscyplinarnego, łączącego wiedzę z różnych dyscyplin, przy czym inżynieria mechaniczna może stanowić wspólny mianownik dla wielu sektorów inżynierii i może w istotny sposób ułatwić migrację opracowanych rozwiązań z sektora okrętowego do innych sektorów, na przykład budownictwa przemysłowego lub infrastruktury.

12. SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1: Abstrakt graficzny pracy:	16
Rysunek 2: Schemat organizacyjny wielobranżowej, okrętowej inżynierskiej firmy projektowej.	28
Rysunek 3: Widok na narzędzie do planowania zasobów projektowych w programie Ms Project 365	38
Rysunek 4: Widok na narzędzie do planowania długoterminowego zasobów projektowych w programie Wayman.	38
Rysunek 5: Widok na narzędzie do planowania długoterminowego pracy projektanta w programie Wayman ..	39
Rysunek 6: Widok na narzędzie do wizualizacji krótkoterminowego planu obciążenia zadaniami z całego portfela projektów realizowanych przez firmę inżynierską w systemie Wayman.	39
Rysunek 7: Infografika prezentująca przebieg realizacji cyklu Deminga w wielobranżowej inżynierskiej firmie projektowej.	43
Rysunek 8: Schemat blokowy obrazujący metodykę analizy baz danych systemu Wayman ERP.	72
Rysunek 9: Fragment rysunku technicznego o nazwie Fundament i zamocowanie pompy wody morskiej.	77
Rysunek 10: Widok listy zadań dotyczących objętych skutkami zmiany czynności w systemie Wayman ERP. ...	78
Rysunek 11: Zapisy w karcie pracy pracownika C0406008 w czerwcu 2014.	78
Rysunek 12: Model BIM instalacji odsiarczania gazów spalinowych na statku.	80
Rysunek 13: Plan krótkoterminowy w ujęciu zbiorczym.	86
Rysunek 14: Fragment planu krótkoterminowego obejmujący rozwinięcie obciążenia wybranego pracownika.	87
Rysunek 15: Formularz definicji zadania jako elementu USD w systemie Wayman.	99
Rysunek 16: Rozwinięcie USD dla etapu projektu klasyfikacyjnego w sektorze okrętowym.	101
Rysunek 17: Schemat ideowy funkcjonalności modułu wiążącego ręcznie utworzone zadania z USD.	103
Rysunek 18: Zestawienie danych statystycznych dla zadań posiadających taki sam identyfikator USD.	117
Rysunek 19: Diagram przebiegu autorskiej metody przygotowania danych wejściowych do modelu SI na podstawie historycznych zapisów planu krótkoterminowego.	119
Rysunek 20: Zmodyfikowany wygląd planu krótkoterminowego w Wayman z ikonami generującymi i wczytującymi pliki CSV.	121
Rysunek 21: Zawartość przykładowego pliku CSV zawierającego plan krótkoterminowy.	121
Rysunek 22: Log zmian zadań w systemie Wayman.	122
Rysunek 23: Porównanie planu krótkoterminowego przed i po modyfikacji wykonanej przez model SI.	124
Rysunek 24: Widok interfejsu modułu do segmentacji ręcznej zadań poprzez powiązanie z USD.:	140
Rysunek 25: Panel ustawień systemu Wayman z opcją włączenia modułu AI.	141
Rysunek 26: Widok na interfejs narzędzia służącego do generowania danych uczących i walidujących model SI w Wayman.	142
Rysunek 27: Interfejs modułu gromadzenia i przetwarzania danych historycznych.	143
Rysunek 28: Fragment interfejsu modułu generowania nowych wariantów planu krótkoterminowego.	145
Rysunek 29: Fragment interfejsu modułu zawierające lokalizację plików danych uczących i walidujących zapisanych w formacie CSV.	145
Rysunek 30: Fragment interfejsu modułu generowania planu z wizualizacją stanu planu krótkoterminowego po zastosowaniu zmian wygenerowanych przez model SI i zaakceptowanych przez użytkownika.	146

13. SPIS TABEL

Tabela 1:Spis symboli i skrótów	12
Tabela 2: Opis elementów struktury organizacyjnej wielobranżowej firmy projektowej	30
Tabela 3: Przykładowe różnice w składni w różnych sektorach inżynierii.	33
Tabela 4: Zestawienie procesów z uwzględnieniem ich potencjału na implementację SI w obszarze inżynierii mechanicznej.	36
Tabela 5: Widok na narzędzie do planowania zasobów projektowych w programie Excel.....	37
Tabela 6:Plan badań	59
Tabela 7: Kwestionariusz kadry kierowniczej średniego szczebla wielobranżowych firm projektowych.	66
Tabela 8: Zestawienie przyczyn i skutków opóźnień aktualizacji planu realizacji projektu.	79
Tabela 9: Zestawienie kryteriów oceny rozwiązań oferowanych przez firmy technologiczne.	83
Tabela 10: Zestawienie tabelaryczne wyników porównania produktów w kontekście zdefiniowanych kryteriów.	85
Tabela 11: Opis kolumn w pliku xlsx zawierającym dane z planu krótkoterminowego służące jako wsad do modelu SI przygotowanego przez zewnętrznego dostawcę.....	89
Tabela 12: Zestawienie klas i grup działań i dokumentacji stosowane w sektorze okrętowym.	98
Tabela 13: Zestawienie atrybutów opisujących zadania – elementy USD.	100
Tabela 14: Zestawienie wyników dla kluczowych parametrów i wniosków jakościowych.....	107
Tabela 15: Lista atrybutów przewidzianych do eksportu z modułu „Plan krótkoterminowy” systemu Wayman.	114
Tabela 16: Kryteria oceny planów krótkoterminowych w procesie walidacji.....	124
Tabela 17: Zestawienie wyników i kryteriów oceny efektywności działania modelu SI.....	126
Tabela 18: Zestawienie wyników i kryteriów oceny efektywności działania modelu SI.....	127
Tabela 19: Zestawienie wartości procentowych oszczędności czasu przy użyciu SI.....	127
Tabela 20: Zestawienie celów badawczych i sposobów ich osiągnięcia.	132

14. SPIS LITERATURY

- [1] B. Schleich, N. Anwer, L. Mathieu, and S. Wartzack, "Shaping the digital twin for design and production engineering," *CIRP Ann Manuf Technol*, vol. 66, no. 1, 2017, doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.040.
- [2] Q. Wu and K. Cormican, "Shared Leadership and Team Effectiveness: An Investigation of Whether and When in Engineering Design Teams," *Front Psychol*, vol. 11, Jan. 2021, doi: 10.3389/fpsyg.2020.569198.
- [3] P. Balkundi and D. A. Harrison, "Ties, leaders, and time in teams: Strong inference about network structure's effects on team viability and performance," *Academy of Management Journal*, vol. 49, no. 1, 2006, doi: 10.5465/AMJ.2006.20785500.
- [4] J. Mathieu, T. M. Maynard, T. Rapp, and L. Gilson, "Team effectiveness 1997-2007: A review of recent advancements and a glimpse into the future," 2008. doi: 10.1177/0149206308316061.
- [5] J. Kisielnicki and A. Misiak, "PODEJŚCIE AGILE VERSUS WATERFALL W PROJEKTOWANIU ZAAWANSOWANYCH SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH ZARZĄDZANIA," *Przegląd Organizacji*, 2017, doi: 10.33141/po.2017.08.05.
- [6] Z. Chen, "Enhancing the engineering supervision process in China: A solution enabled by integrating hybrid blockchain system," *Innovation and Green Development*, vol. 2, no. 4, 2023, doi: 10.1016/j.igd.2023.100091.
- [7] T. Santarius and J. Wagner, "Digitalization and sustainability: A systematic literature analysis of ICT for Sustainability research," *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society*, vol. 32, 2023, doi: 10.14512/gaia.32.S1.5.
- [8] A. Giallanza, G. Aiello, G. Marannano, and V. Nigrelli, "Industry 4.0: smart test bench for shipbuilding industry," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, vol. 14, no. 4, 2020, doi: 10.1007/s12008-020-00739-9.
- [9] E. Özkan, N. Azizi, and O. Haass, "Leveraging smart contract in project procurement through dlt to gain sustainable competitive advantages," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, no. 23, 2021, doi: 10.3390/su132313380.
- [10] J. Zhang, J. Zhang, L. Yang, A. Li, and Y. Zong, "Design System of Integrated Management Platform for Smart Park and Project Case," *Electronic Journal of Structural Engineering*, vol. 23, no. 2, 2023, doi: 10.56748/EJSE.234022.
- [11] A. D. Bolick and R. L. da Silva, "Exploring Artificial Intelligence Tools and Their Potential Impact to Instructional Design Workflows and

- Organizational Systems," *TechTrends*, vol. 68, no. 1, 2024, doi: 10.1007/s11528-023-00894-2.
- [12] L. K. Hansen and P. Svevig, "Seven Decades of Project Portfolio Management Research (1950–2019) and Perspectives for the Future," *Project Management Journal*, vol. 53, no. 3, pp. 277–294, 2022, doi: 10.1177/87569728221089537.
- [13] D. R. Kolzow *et al.*, "Unit 5 Theories of Leadership," *International Journal of Organizational Leadership*, vol. 1, no. 1, 2021.
- [14] I. Rojek, E. Dostatni, J. Kopowski, M. Macko, and D. Mikołajewski, "AI-Based Support System for Monitoring the Quality of a Product within Industry 4.0 Paradigm," *Sensors*, vol. 22, no. 21, 2022, doi: 10.3390/s22218107.
- [15] M. Deshpande, M. Khandelwal, and K. Singh, "Multidisciplinary avenues on the integration of industry 4.0 in the degree of mechanical engineering," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1228, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1757-899x/1228/1/012029.
- [16] M. L. George, *Lean Six Sigma : Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed*. 2002.
- [17] M. Khaleel, A. A. Ahmed, and A. Alsharif, "Artificial Intelligence in Engineering," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.47709/brilliance.v3i1.2170.
- [18] H. Snyder, "Literature review as a research methodology: An overview and guidelines," *J Bus Res*, vol. 104, 2019, doi: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
- [19] P. Chew, "Pioneering Tomorrow's AI System Through Mechanical Engineering [Jib Crane]. An Empirical Study Of The Peter Chew Rule For Overcoming Error In Chat GPT," *SSRN Electronic Journal*, 2023, doi: 10.2139/ssrn.4589888.
- [20] K. Rouibah and K. Caskey, "A workflow system for the management of inter-company collaborative engineering processes," *Journal of Engineering Design*, vol. 14, no. 3, 2003, doi: 10.1080/0954482031000091059.
- [21] A. Gurenko and S. Gurenko, "Analysis of the problems of managing business processes of engineering companies in the implementation of investment projects," *Technology audit and production reserves*, vol. 3, no. 4(53), 2020, doi: 10.15587/2706-5448.2020.207243.
- [22] J. Pavanelli Stefanovitz and A. B. Lopes de Sousa Jabbour, "Product development management complexity: emerging challenges and the role of senior leadership," *Journal of Knowledge Management*, vol. 26, no. 7, 2022, doi: 10.1108/JKM-04-2021-0298.

- [23] Y. Li, W. Zhao, and J. Zhang, "Resource-constrained scheduling of design changes based on simulation of change propagation process in the complex engineering design," *Res Eng Des*, vol. 30, no. 1, 2019, doi: 10.1007/s00163-018-0302-y.
- [24] P. Bilon and W. Litwin, "Human Resource Management Digitalisation in Multidisciplinary Ship Design Companies," *Polish Maritime Research*, vol. 30, no. 4, pp. 120–128, Dec. 2023, doi: 10.2478/pomr-2023-0065.
- [25] H. Singh, N. Kaplas, A. Sharma, and S. Raj, "Product Life Cycle," in *Factories of the Future: Technological Advancements in the Manufacturing Industry*, 2023. doi: 10.1002/9781119865216.ch10.
- [26] M. Kjærgaard-Nielsen, A. M. S. Ø. Jacobsen, J. Lykke-Carstensen, M. Toft-Nielsen, and T. Tambo, "Industrial R&D Project Portfolio Selection Method Using A Multi-Objective Optimization Program: A Conceptual Quantitative Framework," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 17, no. 1, 2024, doi: 10.3926/jiem.6552.
- [27] G. Rivera, R. Florencia, M. Guerrero, R. Porras, and J. P. Sánchez-Solís, "Online multi-criteria portfolio analysis through compromise programming models built on the underlying principles of fuzzy outranking," *Inf Sci (N Y)*, vol. 580, 2021, doi: 10.1016/j.ins.2021.08.087.
- [28] H. C. Caballero, S. Chopra, and E. K. Schmidt, "Project portfolio selection using mathematical programming and optimization methods," in *Paper presented at PMI® Global Congress 2012—North America, Vancouver, British Columbia, Canada. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2012.*
- [29] S. J. Wiklund, M. Önnheim, and M. Ytterstad, "Replenishing the pipeline: A quantitative approach to optimising the sourcing of new projects," *Pharm Stat*, vol. 22, no. 5, 2023, doi: 10.1002/pst.2316.
- [30] R. Diaz, "Strategic digital shipbuilding project portfolio configuration and optimisation," in *International Journal of Simulation and Process Modelling*, 2022. doi: 10.1504/ijspm.2022.126115.
- [31] N. Bibi, Z. Anwar, and A. Ahsan, "Comparison of search-based software engineering algorithms for resource allocation optimization," *Journal of Intelligent Systems*, vol. 2015, pp. 629–642, 2015, doi: 10.1515/jisys-2015-0016.
- [32] M. Poggi *et al.*, "Japanese Companies," *Journal of Product Innovation Management*, vol. 30, no. 1, 2016.
- [33] M. Kandakoglu, G. Walther, and S. Ben Amor, "The use of multi-criteria decision-making methods in project portfolio selection: a literature review and future research directions," *Ann Oper Res*, vol. 332, no. 1–3, 2024, doi: 10.1007/s10479-023-05564-3.

- [34] P. Tsiglianu, N. Romasheva, and A. Nenko, "Conceptual Management Framework for Oil and Gas Engineering Project Implementation," *Resources*, vol. 12, no. 6, 2023, doi: 10.3390/resources12060064.
- [35] M. Milenkovic, D. Ciric Lalic, M. Vujicic, I. Pesko, M. Savkovic, and D. Gracanin, "Project portfolio management in telecommunication company: A stage-gate approach for effective portfolio governance," *Advances in Production Engineering And Management*, vol. 18, no. 3, 2023, doi: 10.14743/apem2023.3.478.
- [36] European Commission, *PM² project management methodology - Publications Office of the EU*. 2021.
- [37] F. Haghighi Rad and S. M. Rowzan, "Designing a hybrid system dynamic model for analyzing the impact of strategic alignment on project portfolio selection," *Simul Model Pract Theory*, vol. 89, 2018, doi: 10.1016/j.simpat.2018.10.001.
- [38] R. Han, X. Li, Z. Shen, and D. Jia, "A framework of robust project portfolio selection problem under strategic objectives considering the risk propagation," *Engineering, Construction and Architectural Management*, 2023, doi: 10.1108/ECAM-08-2022-0801.
- [39] H. S. M. Ali Alshehhi, R. S. @ Mat Sidek, and E. A. Rozali, "The Function of Risk Management in Improving Construction Project Implementation Efficiency," *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*, vol. 14, no. 1, 2024, doi: 10.6007/ijarafms/v14-i1/20435.
- [40] C. Nizma, R. Bangun, B. Benhur, C. Cahyoginarti, and M. Zuardi, "The Role of Organizational Structure in Project Management," *Jurnal Syntax Transformation*, vol. 5, no. 2, 2024, doi: 10.46799/jst.v5i2.928.
- [41] H. Akpınar and D. Özer-Çaylan, "Achieving organizational resilience through complex adaptive systems approach: a conceptual framework," *Management Research*, vol. 20, no. 4, 2022, doi: 10.1108/MRJIAM-01-2022-1265.
- [42] X. A. Flechas Chaparro, L. A. de Vasconcelos Gomes, and P. Tromboni de Souza Nascimento, "The evolution of project portfolio selection methods: from incremental to radical innovation," 2019. doi: 10.1108/REGE-10-2018-0096.
- [43] L. Bai, J. Bai, and M. An, "A methodology for strategy-oriented project portfolio selection taking dynamic synergy into considerations," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 8, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.11.056.
- [44] "Management of interdependencies in defence capability portfolio," 2020. doi: 10.36334/modsim.2013.d1.garanovich.
- [45] A. M. Ramedani, A. Mehrabian, and H. Didekhani, "A two-stage sustainable uncertain multi-objective portfolio selection and scheduling

- considering conflicting criteria,” *Eng Appl Artif Intell*, vol. 132, 2024, doi: 10.1016/j.engappai.2024.107942.
- [46] R. Hollister and M. D. Watkins, “Too many projects,” 2018.
- [47] H. Grillo, M. M. E. Alemany, and E. Caldwell, “Human resource allocation problem in the Industry 4.0: A reference framework,” *Comput Ind Eng*, vol. 169, 2022, doi: 10.1016/j.cie.2022.108110.
- [48] S. Gasik and S. Consulting, “O głównych standardach zarz ą dzania projektami,” no. October, 2015.
- [49] S. Saeed, M. A. Khan, and R. Ahmad, *Business strategies and approaches for effective engineering management*. 2013. doi: 10.4018/978-1-4666-3658-3.
- [50] L. Zheng, W. Lu, K. Chen, K. W. Chau, and Y. Niu, “Benefit sharing for BIM implementation: Tackling the moral hazard dilemma in inter-firm cooperation,” *International Journal of Project Management*, vol. 35, no. 3, 2017, doi: 10.1016/j.ijproman.2017.01.006.
- [51] “Understanding Effects of Matrix Organization Using SPSS Statistics,” *Contemporaneity of English Language and Literature in the Robotized Millennium*, vol. 2, no. 2, 2024, doi: 10.46632/cellrm/2/2/5.
- [52] G. H. S. Rampini and F. T. Berssaneti, “Impact of critical success factors and risk management on organizational results,” *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, vol. 21, no. 1, 2024, doi: 10.14488/BJOPM.1412.2024.
- [53] D. Aghimien, C. Aigbavboa, A. Oke, W. Thwala, and P. Moripe, “Digitalization of construction organisations—a case for digital partnering,” *International Journal of Construction Management*, 2020, doi: 10.1080/15623599.2020.1745134.
- [54] P. Poinet, D. Stefanescu, and E. Papadonikolaki, “Web-based distributed design to fabrication workflows,” *RE: Anthropocene, Design in the Age of Humans - Proceedings of the 25th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2020*, vol. 1, no. August, pp. 95–104, 2020.
- [55] A. Bajpai and S. C. Misra, “Identifying Critical Risk Factors for Use of Digitalization in Construction Industry: A Case Study,” in *Proceedings - 2020 IEEE India Council International Subsections Conference, INDISCON 2020*, 2020. doi: 10.1109/INDISCON50162.2020.00036.
- [56] R. Moser, G. Narayanamurthy, K. Kusaba, and G. Kaiser, “Performance of low-cost country sourcing projects – Conceptual model & empirical analysis,” *Int J Prod Econ*, vol. 204, pp. 30–43, Oct. 2018, doi: 10.1016/j.ijpe.2018.07.011.

- [57] A. A. Kana, "Forecasting design and decision paths in ship design using the ship-centric Markov decision process model," *Ocean Engineering*, vol. 137, pp. 328–337, 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.04.012.
- [58] P. Bilon, *Efektywne zarządzanie firmą projektową*.
- [59] M. Martinsuo, "Project portfolio management in practice and in context," *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 6, 2013, doi: 10.1016/j.ijproman.2012.10.013.
- [60] M. N. Dudin, O. O. Smirnova, N. V. Vysotskaya, E. E. Frolova, and N. G. Vilkova, "The deming cycle (PDCA) concept as a tool for the transition to the innovative path of the continuous quality improvement in production processes of the agro-industrial sector," *European Research Studies Journal*, vol. 20, no. 2, 2017.
- [61] M. Eigner, "Engineering 4.0—Foundations of the Digitalization of Engineering," in *System Lifecycle Management*, 2021. doi: 10.1007/978-3-658-33874-9_3.
- [62] Jan Koeleman, Maria João Ribeirinho, David Rockhill, Erik Sjödin, and Gernot Strube, "Decoding digital transformation in construction," *McKinsey & Company*, no. August, 2019.
- [63] H. Hefazi, I. Mizine, A. Schmitz, S. Klomparens, and S. Wiley, "Multidisciplinary synthesis optimization process in multihull ship design," *Naval Engineers Journal*, vol. 122, no. 3, 2010, doi: 10.1111/j.1559-3584.2010.00240.x.
- [64] C. Bauer and J. Turčínková, "Product elimination in german industrial companies: A comparison study with us and uk industrial companies," *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, vol. 68, no. 3, 2020, doi: 10.11118/actaun202068030585.
- [65] L. G. Crowley, "Engineering Sales: Process of Understanding," *Journal of Management in Engineering*, vol. 12, no. 2, 1996, doi: 10.1061/(asce)0742-597x(1996)12:2(40).
- [66] A. Shafqat, J. Oehmen, T. Welo, and G. Ringen, "The role of risk mitigation actions in engineering projects: An empirical investigation," *Systems Engineering*, vol. 25, no. 6, 2022, doi: 10.1002/sys.21639.
- [67] S. J. Choi, S. W. Choi, J. H. Kim, and E. B. Lee, "Ai and text-mining applications for analyzing contractor's risk in invitation to bid (ITB) and contracts for engineering procurement and construction (EPC) projects," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 15, 2021, doi: 10.3390/en14154632.
- [68] S. M. Harle, "Advancements and challenges in the application of artificial intelligence in civil engineering: a comprehensive review," 2024. doi: 10.1007/s42107-023-00760-9.
- [69] H. N. Rafsanjani and A. H. Nabizadeh, "Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and

- construction (VDC) and digital twin,” *Energy and Built Environment*, vol. 4, no. 2, 2023, doi: 10.1016/j.enbenv.2021.10.004.
- [70] D. E. Franck and A. Meixner, “Maintainability Program Planning and Management,” in *Design for Maintainability*, 2021. doi: 10.1002/9781119578536.ch3.
- [71] R. de Matos Camarinha, D. Porter, and C. Quang, “Disruptive Innovation in AEC: The Case of Artificial Intelligence Applied to Project Management,” in *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2023. doi: 10.1007/978-3-031-20241-4_3.
- [72] G. Owusu *et al.*, “ARMS - Application of AI and OR methods to resource management,” *BT Technology Journal*, vol. 25, no. 3–4, 2007, doi: 10.1007/s10550-007-0081-x.
- [73] N. Rane, “Role of ChatGPT and Similar Generative Artificial Intelligence (AI) in Construction Industry,” *SSRN Electronic Journal*, 2023, doi: 10.2139/ssrn.4598258.
- [74] R. Agnihotri, “Digitalization for the refinery and plant of the future,” *Hydrocarbon Processing*, no. Jul, 2018.
- [75] P. Burggräf, J. Wagner, T. Saßmannshausen, T. Weißer, and O. Radisic-Aberger, “AI-artifacts in engineering change management – a systematic literature review,” 2024. doi: 10.1007/s00163-023-00430-6.
- [76] M. R. Chen, Y. Z. Lu, and G. K. Yang, “Multiobjective extremal optimization with applications to engineering design,” *Journal of Zhejiang University: Science A*, vol. 8, no. 12, pp. 1905–1911, 2007, doi: 10.1631/jzus.2007.A1905.
- [77] W. Herroelen, “Project scheduling - Theory and practice,” 2005. doi: 10.1111/j.1937-5956.2005.tb00230.x.
- [78] T. Mandičák, M. Spišáková, P. Mésároš, and M. Kozlovská, “Design of Economic Sustainability Supported by Enterprise Resource Planning Systems in Architecture, Engineering, and Construction,” *Buildings*, vol. 12, no. 12, 2022, doi: 10.3390/buildings12122241.
- [79] E. Acar, G. Bayrak, Y. Jung, I. Lee, P. Ramu, and S. S. Ravichandran, “Modeling, analysis, and optimization under uncertainties: a review,” 2021. doi: 10.1007/s00158-021-03026-7.
- [80] S. Saeed, M. A. Khan, and R. Ahmad, *Business strategies and approaches for effective engineering management*. IGI Global, 2013. doi: 10.4018/978-1-4666-3658-3.
- [81] T. Krupa and T. Ostrowska, “METODA WIELOPOZIOMOWEGO BILANSOWANIA ZASOBÓW W PROCESIE,” no. February, 2015.
- [82] C. M. Lin and M. Gen, “Multi-criteria human resource allocation for solving multistage combinatorial optimization problems using

- multiobjective hybrid genetic algorithm," *Expert Syst Appl*, vol. 34, no. 4, pp. 2480–2490, May 2008, doi: 10.1016/j.eswa.2007.04.016.
- [83] L. Venz, A. Pundt, and S. Sonnentag, "What matters for work engagement? A diary study on resources and the benefits of selective optimization with compensation for state work engagement," *J Organ Behav*, vol. 39, no. 1, 2018, doi: 10.1002/job.2207.
- [84] D. Arena *et al.*, "Human resource optimisation through semantically enriched data," *Int J Prod Res*, vol. 56, no. 8, pp. 2855–2877, 2018, doi: 10.1080/00207543.2017.1415468.
- [85] B. Ashuri and M. Tavakolan, "Shuffled Frog-Leaping Model for Solving Time-Cost-Resource Optimization Problems in Construction Project Planning," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 29, no. 1, Jan. 2015, doi: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000315.
- [86] M. Z. Nafchi, "Strategic Challenges of Human Resources Allocation in," 2021.
- [87] D. Ioannidis, S. Zikos, S. Krinidis, A. Tryferidis, D. Tzovaras, and S. Likiothanassis, "Occupancy-driven facility management and building performance analysis," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol. 12, no. 7, pp. 1155–1167, 2017, doi: 10.2495/SDP-V12-N7-1155-1167.
- [88] H. Karaszewska, "Miejsce i rola rozwoju zasobów ludzkich w strategicznym zarządzaniu zasobami pracy," *Acta Universitatis Nicolai Copernici Oeconomia*, vol. 41, no. 0, p. 123, 2010, doi: 10.12775/aunc_econ.2010.009.
- [89] L. Illyes, "Cohesion and Balance in a Human Resource Allocation Problem Cohesion and Balance in a Human Resource Allocation Problem," no. January 2009, 2014, doi: 10.14232/actacyb.19.1.2009.6.
- [90] C. Gao and H. Sun, "Strategic Transformation of Human Resource Management Model of Ocean Engineering: An Exploratory Study," *J Coast Res*, vol. 106, no. sp1, 2020, doi: 10.2112/SI106-030.1.
- [91] S. Parusheva, "Digitalization and Digital Transformation in Construction – Benefits and Challenges," *Proceedings of the International Conference dedicated to the 50th anniversary of the Department of Informatics, University of Economics, Varna*, 2019.
- [92] G. Elia, A. Margherita, and G. Passiante, "Management Engineering: A New Perspective on the Integration of Engineering and Management Knowledge," *IEEE Trans Eng Manag*, vol. 68, no. 3, 2021, doi: 10.1109/TEM.2020.2992911.
- [93] J. Bin Yang and H. Y. Chou, "Subjective benefit evaluation model for immature BIM-enabled stakeholders," *Autom Constr*, vol. 106, 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102908.

- [94] Z. Wang and J. Liu, "A Seven-Dimensional Building Information Model for the Improvement of Construction Efficiency," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8842475.
- [95] L. Zheng, W. Lu, K. Chen, K. W. Chau, and Y. Niu, "Benefit sharing for BIM implementation: Tackling the moral hazard dilemma in inter-firm cooperation," *International Journal of Project Management*, vol. 35, no. 3, 2017, doi: 10.1016/j.ijproman.2017.01.006.
- [96] M. Jagusiak-Kocik, "PDCA cycle as a part of continuous improvement in the production company - A case study," *Production Engineering Archives*, vol. 14, no. 14, 2017, doi: 10.30657/pea.2017.14.05.
- [97] F. P. Sutanto, B. Setiawan, A. Mauludin, and R. Zuraida, "Deming Cycle Utilization In Construction Project For Modular Building Construction For Oil And Gas Industry," *Jurnal Tekno*, vol. 20, no. 1, 2023, doi: 10.33557/jtekno.v20i1.2262.
- [98] 杨剑, "The Enlightenment of the Concerned Thought in 'The Book of Changes' on Engineering Construction Management," *Modern Management*, vol. 14, no. 01, 2024, doi: 10.12677/mm.2024.141008.
- [99] J. H. Woo, B. Kim, S. H. Ju, and Y. I. Cho, "Automation of load balancing for Gantt planning using reinforcement learning," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 101, 2021, doi: 10.1016/j.engappai.2021.104226.
- [100] A. A. Khatatbeh, "Quantifying the impact of ISO 9001 standard on the project and engineering management and success factors; A case of construction industry," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 30, no. 6, 2023, doi: 10.1108/ECAM-07-2021-0656.
- [101] R. Sweis, N. AL-Huthaifi, A. Alawneh, W. Albalkhy, T. Suifan, and R. Saa'da, "ISO-9001 implementation and critical success factors of the Jordanian consulting engineering firms," *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 71, no. 4, 2022, doi: 10.1108/IJPPM-11-2019-0535.
- [102] S. Popek, "Procedura zarządzania ryzykiem zgodnie z wymaganiem AQAP (Allied Quality Assurance Publication – publikacja standaryzacyjna dotycząca zapewnienia jakości) na przykładzie spółki produkcyjnej – analiza," *Współczesne Problemy Zarządzania*, vol. 7, no. 2 (15), 2019, doi: 10.52934/wpz.25.
- [103] "Implementation of ISO 9001 as a preparation for implementing ISO 14001 in small-scale engineering companies," *Tehnicky vjesnik - Technical Gazette*, vol. 23, no. 4, 2016, doi: 10.17559/tv-20150108200844.
- [104] J.-W. Park and H.-N. Lee, "A Study on Construction of ERP System for Small and Medium sized Design Engineering Company," *Journal of the Korea Safety Management and Science*, vol. 12, Jan. 2010.

- [105] R. Bimantara, I. P. a Bayupati, and D. Rusjyanthi, "Business Process Re-engineering and ERP System Implementation in Design Company," *JITTER : Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*, vol. 3, p. 912, Jan. 2022, doi: 10.24843/JTRTI.2022.v03.i01.p27.
- [106] T. Nguyet and Q. Phung, "Developing an Organizational Readiness Framework for BIM Implementation in Large Design Companies," *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, vol. 12, Oct. 2021, doi: 10.30880/ijscet.2021.12.03.006.
- [107] A. Krykun, O. Bondar, P. Teslenko, and T. Chyrva, "Digital instruments of BIM management," *Dorogi i mosti*, vol. 2024, pp. 48–58, Oct. 2024, doi: 10.36100/dorogimosti2024.30.048.
- [108] V. Rata and S. Secobeanu, "Aspects of using 3-D laser scanning technology in ship retrofit projects," *Analele Universității "Dunărea de Jos" din Galați. Fascicula XI, Construcții navale/ Annals of "Dunărea de Jos" of Galati, Fascicle XI, Shipbuilding*, vol. 42, 2019, doi: 10.35219/annugalshipbuilding.2019.42.21.
- [109] X. Mao, J. Li, H. Guo, and X. Wu, "Research on collaborative planning and symmetric scheduling for parallel shipbuilding projects in the open distributed manufacturing environment," *Symmetry (Basel)*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.3390/SYM12010161.
- [110] S. O. Abioye *et al.*, "Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges," 2021. doi: 10.1016/j.jobe.2021.103299.
- [111] M. Regona, T. Yigitcanlar, B. Xia, and R. Y. M. Li, "Artificial Intelligent Technologies for the Construction Industry: How Are They Perceived and Utilized in Australia?," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 1, 2022, doi: 10.3390/joitmc8010016.
- [112] J. Sender, B. Illgen, S. Klink, and W. Flügge, "Integration of learning effects in the design of shipbuilding networks," in *Procedia CIRP*, 2021. doi: 10.1016/j.procir.2021.05.017.
- [113] S. Farshad and C. Fortin, "Distributed cognition transformation in complete online system engineering design teaching," in *Proceedings of the Design Society*, 2021. doi: 10.1017/pds.2021.131.
- [114] A. Ljulj, V. Slapničar, and I. Grubišić, "Current approaches to the management of naval shipbuilding projects," *Brodogradnja*, vol. 72, no. 1, 2021, doi: 10.21278/brod72105.
- [115] S. D. Jankovic and D. M. Curovic, "Strategic Integration of Artificial Intelligence for Sustainable Businesses: Implications for Data Management and Human User Engagement in the Digital Era," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 21, 2023, doi: 10.3390/su152115208.

- [116] N. Yüksel, H. R. Börklü, H. K. Sezer, and O. E. Canyurt, "Review of artificial intelligence applications in engineering design perspective," 2023. doi: 10.1016/j.engappai.2022.105697.
- [117] A. Barcaui and A. Monat, "Who is better in project planning? Generative artificial intelligence or project managers?," *Project Leadership and Society*, vol. 4, 2023, doi: 10.1016/j.plas.2023.100101.
- [118] H. Salehi and R. Burgueño, "Emerging artificial intelligence methods in structural engineering," 2018. doi: 10.1016/j.engstruct.2018.05.084.
- [119] M. A. Hariri-Ardebili, G. Mahdavi, L. K. Nuss, and U. Lall, "The role of artificial intelligence and digital technologies in dam engineering: Narrative review and outlook," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 126, 2023, doi: 10.1016/j.engappai.2023.106813.
- [120] M. Yu, F. Zhu, X. Yang, L. Wang, and X. Sun, "Integrating sustainability into construction engineering projects: Perspective of sustainable project planning," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 3, 2018, doi: 10.3390/su10030784.
- [121] B. H. Yahaya, A. A. Ahmed, and B. O. Anikajogun, "Economic Sustainability of Building and Construction Projects Based on Artificial Intelligence Techniques," *The Asian Review of Civil Engineering*, vol. 12, no. 1, 2023, doi: 10.51983/tarce-2023.12.1.3677.
- [122] L. Cavalcante Siebert *et al.*, "Meaningful human control: actionable properties for AI system development," *AI and Ethics*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.1007/s43681-022-00167-3.
- [123] X. Lin, "Artificial Intelligence in the Industrial Engineering," *Advances in Operation Research and Production Management*, vol. 1, no. 1, 2024, doi: 10.54254/3006-1210/direct/0106.
- [124] Y. K. Dwivedi, A. Sharma, N. P. Rana, M. Giannakis, P. Goel, and V. Dutot, "Evolution of artificial intelligence research in Technological Forecasting and Social Change: Research topics, trends, and future directions," *Technol Forecast Soc Change*, vol. 192, 2023, doi: 10.1016/j.techfore.2023.122579.
- [125] D. Ivanov, C. S. Tang, A. Dolgui, D. Battini, and A. Das, "Researchers' perspectives on Industry 4.0: multi-disciplinary analysis and opportunities for operations management," 2021. doi: 10.1080/00207543.2020.1798035.
- [126] K. Shafi *et al.*, "Measuring performance through enterprise resource planning system implementation," *IEEE Access*, vol. 7, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2884900.
- [127] H. T. Thai, "Machine learning for structural engineering: A state-of-the-art review," 2022. doi: 10.1016/j.istruc.2022.02.003.

- [128] K. Ahmad, M. Abdelrazek, C. Arora, A. Agrahari Baniya, M. Bano, and J. Grundy, "Requirements engineering framework for human-centered artificial intelligence software systems," *Appl Soft Comput*, vol. 143, 2023, doi: 10.1016/j.asoc.2023.110455.
- [129] OpenAI, "Models - OpenAI API," OpenAI Documentation.
- [130] N. O. C. Victor, "The Application of Artificial Intelligence for Construction Project Planning," *Journal of Advances in Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 2, 2023, doi: 10.18178/jaai.2023.1.2.67-95.
- [131] S. E. Whang, Y. Roh, H. Song, and J. G. Lee, "Data collection and quality challenges in deep learning: a data-centric AI perspective," *VLDB Journal*, vol. 32, no. 4, 2023, doi: 10.1007/s00778-022-00775-9.
- [132] S. Pargaonkar, "A Comprehensive Review of Performance Testing Methodologies and Best Practices: Software Quality Engineering," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 12, no. 8, 2023, doi: 10.21275/sr23822111402.
- [133] R. Dzhusupova, J. Bosch, and H. H. Olsson, "Choosing the right path for AI integration in engineering companies: A strategic guide," *Journal of Systems and Software*, vol. 210, 2024, doi: 10.1016/j.jss.2023.111945.
- [134] C. Micán, G. Fernandes, and M. Araújo, "Project portfolio risk management: A structured literature review with future directions for research," *International Journal of Information Systems and Project Management*, vol. 8, no. 3, 2020, doi: 10.12821/ijispm080304.
- [135] M. Giezen, "Keeping it simple? A case study into the advantages and disadvantages of reducing complexity in mega project planning," *International Journal of Project Management*, vol. 30, no. 7, 2012, doi: 10.1016/j.ijproman.2012.01.010.
- [136] P. F. Drucker, E. Dyson, C. Handy, P. Saffo, and P. M. Senge, "Looking ahead: implications of the present.," in *Harvard business review*, 1997.
- [137] A. Agresti, "A survey of exact inference for contingency tables," *Statistical Science*, vol. 7, no. 1, 1992, doi: 10.1214/ss/1177011454.
- [138] M. L. McHugh, "The Chi-square test of independence," *Biochem Med (Zagreb)*, vol. 23, no. 2, 2013, doi: 10.11613/BM.2013.018.
- [139] L. M. Connelly, "Fisher's exact test," 2016. doi: 10.2307/2982890.
- [140] Y. Cao, Y. Xu, M. T. Tan, P. Chen, and C. Duan, "A simple and improved score confidence interval for a single proportion," *Commun Stat Theory Methods*, vol. 51, no. 8, 2022, doi: 10.1080/03610926.2020.1779747.
- [141] H. Abbasianjahromi and S. Hosseini, "A risk-cost optimization model for selecting human resources in construction projects," *SN Appl Sci*, vol. 1, no. 11, 2019, doi: 10.1007/s42452-019-1570-5.

- [142] M. Mphumi, C. Aigbavboa, E. Nnamdi, and G. Okoene, "Benefits of Implementing Enterprise Resource Planning In The Construction Industry: A South Africa Study," *International Journal of Sustainable Development*, vol. 10, no. 8, 2017.
- [143] T. Junussova, A. Nadeem, J. R. Kim, S. Azhar, M. Khalfan, and M. Kashyap, "Sustainable Construction through Resource Planning Systems Incorporation into Building Information Modelling," 2022. doi: 10.3390/buildings12101761.
- [144] H. Voordijk, R. Stegwee, and R. Helmus, "ERP and the changing role of IT in engineering consultancy firms," 2005. doi: 10.1108/14637150510609435.
- [145] S. K. Talluri and A. Vasu Deva Reddy, "Evaluating critical success factors of ERP implementation in SMEs," *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 2, 2019, doi: 10.35940/ijrte.B1716.078219.
- [146] S. L. Jung, J. Lee, and H. Jo, "A Case Study on ERP Adoption in Shipbuilding and Marine Engineering Industry," *Journal of the Korea society of IT services*, vol. 12, no. 1, 2013, doi: 10.9716/kits.2013.12.1.189.
- [147] M. Alsayat and M. Alenezi, "ERP Implementation Failures in Saudi Arabia: Key Findings," *International Business Management*, vol. 12, no. 1, 2018.
- [148] A. N. Bhirud and B. M. Revatkar, "EFFECTIVE IMPLEMENTATION OF ERP IN INFRASTRUCTURE CONSTRUCTION INDUSTRY," *International Journal of Technical Research and Applications*, vol. 4, no. 2, 2016.
- [149] J. Bin Yang, C. T. Wu, and C. H. Tsai, "Selection of an ERP system for a construction firm in Taiwan: A case study," *Autom Constr*, vol. 16, no. 6, 2007, doi: 10.1016/j.autcon.2007.02.001.
- [150] A. Arvianto, Z. Fanani Rosyada, S. Saptadi, W. Budiawan, and Y. E. Demilda, "ERP ODOO IMPLEMENTATION IN SMALL RETAILERS," *International Journal of Applied Science and Engineering Review*, vol. 03, no. 06, 2022, doi: 10.52267/ijaser.2022.3605.
- [151] M. A. Khan, "Integrating BIM with ERP Systems Towards an Integrated Multi-user Interactive Database: Reverse-BIM Approach," in *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2023. doi: 10.1007/978-981-19-2145-2_17.
- [152] F. R. Do Nascimento, A. G. Dos Santos, L. A. Da Fonseca Júnior, and D. M. Nunes, "Application of Lean Six Sigma to Reduce Delays in Engineering Changes," *IEEE Trans Eng Manag*, vol. 71, 2024, doi: 10.1109/TEM.2022.3199388.
- [153] M. Ali, "Developing in-House ERP System for the Construction Industry in a Developing Country: A Case Study," *Engineering Management Research*, vol. 6, no. 1, 2017, doi: 10.5539/emr.v6n1p90.

- [154] B. Y. Chung, M. J. Skibniewski, H. C. Lucas, and Y. H. Kwak, "Analyzing Enterprise Resource Planning System Implementation Success Factors in the Engineering–Construction Industry," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 22, no. 6, 2008, doi: 10.1061/(asce)0887-3801(2008)22:6(373).
- [155] S. Demirkesen and A. Tezel, "Investigating major challenges for industry 4.0 adoption among construction companies," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 3, 2022, doi: 10.1108/ECAM-12-2020-1059.
- [156] J. Berlak, S. Hafner, and V. G. Kuppelwieser, "Digitalization's impacts on productivity: a model-based approach and evaluation in Germany's building construction industry," *Production Planning and Control*, vol. 32, no. 4, 2021, doi: 10.1080/09537287.2020.1740815.
- [157] M. Regona, T. Yigitcanlar, B. Xia, and R. Y. M. Li, "Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review," *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 1, 2022, doi: 10.3390/joitmc8010045.
- [158] D. Kamrowska-Zańska, "Impact of ai-based tools and urban big data analytics on the design and planning of cities," 2021. doi: 10.3390/land10111209.
- [159] C. N. Egwim *et al.*, "Artificial Intelligence in the Construction Industry: A Systematic Review of the Entire Construction Value Chain Lifecycle," 2024. doi: 10.3390/en17010182.
- [160] A. Marinho, J. Couto, and J. Teixeira, "Relational contracting and its combination with the bim methodology in mitigating asymmetric information problems in construction projects," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 27, no. 4, 2021, doi: 10.3846/jcem.2021.14742.
- [161] B. Song *et al.*, "Decoding the agility of artificial intelligence-assisted human design teams," *Des Stud*, vol. 79, 2022, doi: 10.1016/j.destud.2022.101094.
- [162] T. Babina, A. Fedyk, A. He, and J. Hodson, "Artificial intelligence, firm growth, and product innovation," *J financ econ*, vol. 151, 2024, doi: 10.1016/j.jfineco.2023.103745.
- [163] Ryszard Konsala and Piotr Bilon, *Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji. Aktualności badawcze 6*, 1st ed. Warszawa: Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne S.A. , 2025.
- [164] V. Koscheyev, V. Rapgof, and V. Vinogradova, "Digital transformation of construction organizations," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/497/1/012010.

- [165] M. Zhao, R. Simmons, and H. Admoni, "The Role of Adaptation in Collective Human–AI Teaming," *Top Cogn Sci*, vol. 17, no. 2, 2025, doi: 10.1111/tops.12633.
- [166] C. C. Chen Charlie C., C. C. H. Law, and S. C. Yang, "Managing ERP implementation failure: A project management perspective," *IEEE Trans Eng Manag*, vol. 56, no. 1, 2009, doi: 10.1109/TEM.2008.2009802.
- [167] D. H Zeiner-Gundersen, "Project Management Shall Use Artificial Intelligence (AI) Driven Algorithms When Addressing Project Costs and Risks," *Current Trends in Engineering Science (CTES)*, vol. 2, no. 01, 2022, doi: 10.54026/ctes/1010.
- [168] G. J. Miller, "Artificial Intelligence Project Success Factors—Beyond the Ethical Principles," in *Lecture Notes in Business Information Processing*, 2022. doi: 10.1007/978-3-030-98997-2_4.
- [169] V. Holzmann, D. Zitter, and S. Peshkess, "The Expectations of Project Managers from Artificial Intelligence: A Delphi Study," *Project Management Journal*, vol. 53, no. 5, 2022, doi: 10.1177/87569728211061779.
- [170] M. Montazer, D. Rebolj, and D. Heck, "A Comparison Review of Automated Construction Scheduling Methods," 2017. doi: 10.24928/jc3-2017/0010.