

# **A U T O R E F E R A T**

**– Załącznik nr 3 –**

**do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania  
stopnia doktora habilitowanego**

**dr inż. Mariusz Paweł Szóstak**  
Katedra Budownictwa Ogólnego  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechnika Wroclawska

Wrocław, 18.03.2024 r.

## Spis treści

<b>1</b>	<b>Imię i nazwisko .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) .....</b>	<b>5</b>
4.1	Tytuł głównego osiągnięcia naukowego .....	5
4.2	Wykaz artykułów naukowych stanowiących osiągnięcie naukowe.....	5
4.3	Terminy i ich definicje występujące w autoreferacie.....	7
4.4	Omówienie osiągnięcia naukowego.....	8
4.4.1	Opis osiągnięcia naukowego.....	8
4.4.2	Problem badawczy w kontekście istniejącego stanu wiedzy .....	9
4.4.3	Stosowane metody i narzędzia do planowania i monitorowania przedsięwzięć budowlanych w kontekście istniejącego stanu wiedzy .....	10
4.4.4	Przedmiot i cel powiązanego tematycznie cyklu artykułów .....	17
4.4.5	Próba badawcza.....	18
4.4.6	Omówienie osiągnięć naukowych zaprezentowanych w cyklu publikacji .....	24
4.4.7	Weryfikacja modelu. Kierunki prowadzonych dalszych badań.....	39
4.4.8	Podsumowanie wkładu osiągnięć habilitanta do dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport .....	40
4.4.9	Literatura cytowana w autoreferacie.....	42
<b>5</b>	<b>Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych.....</b>	<b>46</b>
5.1	Osiągnięcie naukowe w okresie przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora .....	46
5.2	Osiągnięcia naukowe w okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora.....	47
5.2.1	Osiągnięcie II: Modelowanie procesu wypadkowego i analiza przyczyn wypadków przy pracy .....	47
5.2.2	Osiągnięcie III: Zastosowanie innowacyjnych technologii w budownictwie.....	52
5.3	Pozostały dorobek naukowy.....	56
<b>6</b>	<b>Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej.....</b>	<b>57</b>

<b>7</b>	<b>Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę.....</b>	<b>59</b>
7.1	Osiągnięcia dydaktyczne.....	59
7.2	Osiągnięcia organizacyjne.....	62
7.3	Osiągnięcia popularyzujące naukę.....	63
<b>8</b>	<b>Inne informacje dotyczące kariery zawodowej .....</b>	<b>64</b>
8.1	Projekty badawcze.....	64
8.2	Szkolenia, kursy, warsztaty .....	65
8.3	Nagrody, wyróżnienia .....	66
8.4	Zestawienie wybranych osiągnięć naukowych .....	67
8.5	Dane naukometryczne .....	68

**Dr inż. Mariusz Szóstak**

Katedra Budownictwa Ogólnego

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Politechnika Wrocławska

Dyscyplina: Inżynieria lądowa, geodezja i transport

<https://ludzie.nauka.gov.pl/in/profiles/cbFR82FXpTT>

## AUTOREFERAT

### 1 Imię i nazwisko

Mariusz Paweł Szóstak

### 2 Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne

- dyplom inżyniera budownictwa, kierunek: budownictwo, specjalność: inżynieria budowlana, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, nr dyplomu 120 932, 2012 rok.  
Tytuł pracy inżynierskiej: „Projekt żelbetowej konstrukcji stropu w magazynie” (opiekun pracy dyplomowej: dr inż. Janusz Pędziwiatr).
- Dyplom magistra inżyniera budownictwa (z wyróżnieniem), kierunek: budownictwo, specjalność: budowlano-technologiczno-menedżerska, Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, nr dyplomu 129 990, 2013 rok.  
Tytuł pracy magisterskiej: „Analiza czasowo-kosztowa wariantów organizacji robót” (opiekun pracy dyplomowej: dr hab. inż. Zdzisław Hejducki).
- **Stopień naukowy doktora nauk technicznych** (z wyróżnieniem), w dyscyplinie naukowej: budownictwo, nadany uchwałą Rady Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, 2018 rok.  
Tytuł rozprawy doktorskiej: „Modelowanie rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie”.  
Promotor w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Bożena Hoła.  
Recenzenci w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Roman Marcinkowski, prof. dr hab. inż. Anna Sobotka.

### 3 Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Zakład Technologii i Zarządzania w Budownictwie (zlikwidowany w grudniu 2019 r.),  
01.10.2016 – 30.04.2019 asystent badawczo-dydaktyczny,  
01.05.2019 – 31.12.2019 adiunkt badawczo-dydaktyczny.
- Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Katedra Budownictwa Ogólnego,  
01.01.2020 – do chwili obecnej adiunkt badawczo -dydaktyczny.

Politechnika Wrocławska jest nieprzerwanie, od roku 2016, moim podstawowym miejscem pracy.

#### 4 Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

##### 4.1 Tytuł głównego osiągnięcia naukowego

Podstawą do ubiegania się przeze mnie o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauki inżynieryjno-techniczne, w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport jest cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt. „*Prognozowanie przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsięwzięciach budowlanych*”.

##### 4.2 Wykaz artykułów naukowych stanowiących osiągnięcie naukowe

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl 7 powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w latach 2020-2023. Pięć z nich opublikowanych zostało w czasopismach z listy *Journal Citation Reports (JCR)*, trzy z zawartych w cyklu publikacji to artykuły samodzielne, natomiast pozostałe powstały w wyniku pracy zespołowej. W artykułach zespołowych zastosowana została alfabetyczna kolejność autorów, a mój udział wkładu pracy we wszystkich publikacjach jest większościowy, co zostało potwierdzone w załączonych do autoreferatu oświadczeniach o wkładzie pracy przez współautorów (załączniki nr 5).

We wszystkich artykułach byłem autorem korespondencyjnym, co wiązało się z prowadzeniem krytycznych polemik z ich recenzentami. Ponadto proces komunikacji z edytorami, recenzentami i wydawnictwami był prowadzony we wszystkich wykazanych artykułach wchodzących w zakres cyklu przeze mnie w języku angielskim.

Wszystkie, wchodzące w skład cyklu, artykuły wyszczególniłem poniżej w kolejności chronologicznej z podaniem danych bibliograficznych, a w tabeli 1 zestawilem ich parametry naukometryczne.

- [A1] Konior J. Szóstak M.<sup>✉</sup>, The S-curve as a tool for planning and controlling of construction process - case study. *Applied Sciences*, 2020, vol. 10, nr 6, art. 2071, s. 1-14. <http://dx.doi.org/10.3390/app10062071>  
**Punktacja MEiN z: 2019-2022: 100 pkt. Impact Factor: 02.679 (2020)**
- [A2] Konior J. Szóstak M.<sup>✉</sup>, Methodology of planning the course of the cumulative cost curve in construction projects. *Sustainability*, 2020, vol. 12, nr 6, art. 2347, s. 1-23. <http://dx.doi.org/10.3390/su12062347>  
**Punktacja MEiN z: 2019-2022: 100 pkt. Impact Factor: 03.251 (2020)**
- [A3] Konior J. Szóstak M.<sup>✉</sup>, Cumulative cost spent on construction projects of different sectors. *Civil Engineering and Architecture*. 2021, vol. 9, nr 4, s. 999-1011. <http://dx.doi.org/10.13189/cea.2021.090404>  
**Punktacja MEiN z: 2019-2022: 20 pkt.**
- [A4] Konior J. Szóstak M.<sup>✉</sup>, Course of planned, actual and earned cost curves of diverse construction investments. *International Journal of Construction Management*. 2021, vol. 23, nr 5, s. 865-876. <http://dx.doi.org/10.1080/15623599.2021.1942769>  
**Punktacja MEiN z: 2019-2022: 70 pkt. Impact Factor: 03.900 (2022)**

- [A5] Szóstak M. <sup>☒</sup>, Planning the time and cost of implementing construction projects using an example of residential buildings. *Archives of Civil Engineering*. **2021**, vol. 67, nr 4, s. 243-259. <https://doi.org/10.24425/ace.2021.138497>  
**Punktacja MEiN z: 2019-2022: 100 pkt.**
- [A6] Szóstak M. <sup>☒</sup>, Best fit of cumulative cost curves at the planning and performed stages of construction projects. *Buildings*. **2023**, vol. 13, nr 1, art. 13, s. 1-15. <https://doi.org/10.3390/buildings13010013>  
**Punktacja MEiN z: 2023: 70 pkt.                      Impact Factor: 03.800 (2022)**
- [A7] Szóstak M. <sup>☒</sup>, Forecasting the course of cumulative cost curves for different construction projects. *Civil and Environmental Engineering Reports*. **2023**. vol. 33, nr 1, s. 71–89. <https://doi.org/10.59440/ceer-2023-0005>  
**Punktacja MEiN z: 2023: 70 pkt.                      Impact Factor: 00.700 (2022)**

Tabela 1. Zestawienie parametrów naukowych cyklu powiązanych tematycznie artykułów [A1 – A7]

Oznac.	Czasopismo	Rok opublikowania	Jedyny autor	Autor korespondencyjny	IF w roku opublikowania	Punktacja MEiN
[A1]	<i>Applied Sciences</i>	2020	-	x	02.679	100
[A2]	<i>Sustainability</i>	2020	-	x	03.251	100
[A3]	<i>Civil Engineering and Architecture</i>	2021	-	x	-	20
[A4]	<i>International Journal of Construction Management</i>	2021	-	x	03.900	70
[A5]	<i>Archives of Civil Engineering</i>	2021	x	x	-	100
[A6]	<i>Buildings</i>	2023	x	x	03.800	70
[A7]	<i>Civil and Environmental Engineering Reports</i>	2023	x	x	00.700	70
<i>Sumaryczny IF publikacji w cyklu</i>					<b>14.330</b>	
<i>Średni IF na publikację z IF</i>					<b>2.866</b>	
<i>Całkowita suma punktów MEiN nie podzielona na liczbę autorów</i>						<b>530</b>
<i>Suma punktów MEiN przypadająca na wnioskodawcę</i>						<b>385</b>

Z cyklem powiązanych tematycznie artykułów naukowych wiążą się wymienione poniżej wystąpienia na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych, gdzie prezentowane i dyskutowane były częściowe rezultaty prowadzonych przeze mnie badań oraz opublikowane referaty konferencyjne.

Konferencje naukowe:

- [K1] 4. International Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering (ECCE 2020), 20-22.04.2020, Opole, tytuł wystąpienia: *Time and cost variance of construction projects monitored by Bank Investment Supervision.*
- [K2] 5. International Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering (ECCE 2022), 26-28.09.2022, Opole, tytuł wystąpienia: *Shaping the course of costs curves generated in diversified investment sectors.*
- [K3] 53. Międzynarodowa Konferencja Naukowa Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych (IPB 2022), 28-30.09.2022, Kołobrzeg, tytuł wystąpienia: *Hybrydowa metoda prognozowania przebiegu krzywych kosztowych narastających w różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych.*
- [K4] 7. Konferencja Naukowo-Techniczna: Aktualne Problemy w Budownictwie Ogólnym i Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych (BUDIN 2023), 30-31.03.2023, Szklarska Poręba, tytuł wystąpienia: *Hybrydowa metoda prognozowania przebiegu krzywej skumulowanego kosztu (CCCC) w różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych.*

Referaty konferencyjne:

- [R1] Konior J.<sup>✉</sup>, **Szóstak M.**, Time and Cost Variance of Construction Projects Monitored by Bank Investment Supervision. International Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering (ECCE 2020): Environmental Challenges in Civil Engineering, Springer, 2021, 207-215.
- [R2] Konior J.<sup>✉</sup>, **Szóstak M.**, Shaping the Course of Costs Curves Generated in Diversified Investment Sectors. International Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering (ECCE 2022): Environmental Challenges in Civil Engineering II, Springer, 2023, 283-289.

### 4.3 Terminy i ich definicje występujące w autoreferacie

Swoje badania skoncentrowałem na koszcie robót budowlanych, który stanowi 75-85% budżetu przedsięwzięcia budowlanego (potocznie nazywany jako „koszt twardy”). W autoreferacie posługuję się liczbą pojedynczą terminu koszt, przyjmując, że jest on sumą kilku składowych kosztów inwestycyjnych (nie używam liczby mnogiej tego terminu, która ma znaczenie nie tylko inżynierskie: koszty, koszta).

Ponadto poniżej przedstawiam terminy i definicje znaczeniowe pojęć zastosowanych w autoreferacie i cyklu publikacji:

- a) przedsięwzięcie budowlane – zbiór działań polegających na przygotowaniu, zaprojektowaniu i wykonaniu robót budowlanych, mających na celu wybudowanie obiektu budowlanego,

- b) wybrane przedsięwzięcia budowlane – przedsięwzięcia budowlane należące do skategoryzowanych różnorodnych grup/sektorów budownictwa, np. budynki zbiorowego zamieszkania, budynki biurowe, itp.,
- c) koszt przedsięwzięcia budowlanego – suma nakładów finansowych przeznaczonych na realizację robót budowlanych, w szczególności:
  - zaplanowany koszt przedsięwzięcia budowlanego – zaplanowany przed rozpoczęciem realizacji zadania inwestycyjnego koszt wykonania robót budowlanych,
  - wypracowany koszt przedsięwzięcia budowlanego – koszt faktycznie wykonanych robót budowlanych,
  - poniesiony koszt przedsięwzięcia budowlanego – koszt zapłaconych robót budowlanych,
  - rzeczywisty koszt przedsięwzięcia budowlanego – koszt realizacji zadania inwestycyjnego, dla którego wypracowany koszt jest równy z poniesionym kosztem,
- d) skumulowany koszt przedsięwzięcia budowlanego – suma nakładów finansowych przedsięwzięcia budowlanego przedstawionych narastająco w czasie jego realizacji,
- e) obszar przebiegu skumulowanego kosztu przedsięwzięcia budowlanego – wykres w postaci dwóch linii ograniczających pole, w którym mieści się skumulowany rzeczywisty koszt przedsięwzięcia budowlanego w czasie jego wykonania,
- f) krzywa najlepszego dopasowania – krzywa reprezentująca trend rzeczywistego przebiegu skumulowanego kosztu przedsięwzięcia budowlanego w czasie jego wykonania,
- g) prognozowanie przebiegu rzeczywistego kosztu skumulowanego – proces wnioskowania o rzeczywistym koszcie realizacji przedsięwzięcia budowlanego w określonym momencie czasu jego realizacji,
- h) metoda krzywej kosztów skumulowanych (Metoda Krzywej „S”) – metoda analizy kosztu przedsięwzięcia budowlanego, której podstawą jest wykres skumulowanego kosztu przedsięwzięcia, umożliwiająca planowanie i/lub monitorowanie przebiegu kosztu przedsięwzięcia budowlanego w czasie,
- i) Metoda Wartości Wypracowanej (*Earned Value Method*) – metoda pomiaru rzeczywistego postępu przedsięwzięcia budowlanego, oparta na porównywaniu rzeczywistego kosztu i zrealizowanego zakresu prac z ich zaplanowanym kosztem realizacji i czasem wykonania,
- j) Metoda Przebiegu Krzywej Kosztu Skumulowanego (*Course of Cumulative Cost Curves Method*) – metoda, której celem jest prognozowanie skumulowanego kosztu planowanego o największym dopasowaniu/najmniejszym odchyleniu od kosztu rzeczywistego w wybranej grupie przedsięwzięć budowlanych,
- k) Bankowy Inspektor Nadzoru – funkcja niezależnego audytora dla banków i inwestorów w procesie kredytowania zadań inwestycyjnych.

#### 4.4 Omówienie osiągnięcia naukowego

##### 4.4.1 Opis osiągnięcia naukowego

Każdy uczestnik procesu inwestycyjnego pełni swoją funkcję w ograniczeniu kosztu realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Inwestor, kierownik budowy i projektant muszą



zaplanować wartość i strukturę kosztu wykonania inwestycji oraz kontrolować jego skumulowany przebieg w czasie.

Menedżer przedsięwzięcia budowlanego – który wprawdzie nie jest uczestnikiem procesu inwestycyjnego, ale zarządza całym procesem budowlanym – staje przed zasadniczym wyzwaniem menedżerskim, polegającym na takim zarządzaniu przebiegiem skumulowanego kosztu inwestycyjnego, żeby jego wartość rzeczywista (faktycznie wykonanych i zapłaconych prac budowlanych) była jak najbardziej zbliżona (jak najmniej odchyłona) do wartości zaplanowanej. **Zatem prognozowanie przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji ma ogromne znaczenie w zarządzaniu przedsięwzięciami budowlanymi i umożliwia przewidywalne utrzymanie zaplanowanych budżetów inwestycyjnych w sposób kontrolowany i maksymalnie zbliżony do stanu faktycznego.**

Tak też sformułowałem w autoreferacie cel istotnego wyzwania naukowego i zawodowego, który osiągnąłem w wyniku omówionych poniżej badań własnych. W badaniach starałem się wykorzystać narzędzia naukowe, które mogą być praktycznie i łatwo stosowane przez menedżerów i uczestników procesu inwestycyjnego.

Na podstawie analizy opracowanej przeze mnie bazy wiedzy, zawierającej dane z 612 raportów Bankowego Inspektora Nadzoru dotyczących 45 przedsięwzięć budowlanych z lat 2006 – 2023 o łącznie wartości ponad 1 300 000 000 PLN, doprowadziłem do wyznaczenia krzywej najlepszego dopasowania i określenia przewidywanego obszaru przebiegu skumulowanego rzeczywistego kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych, należących do różnych grup/sektorów budownictwa. Wyznaczone przeze mnie funkcje wielomianowe i wykresy obszarów rzeczywistych krzywych kosztu, w postaci nomogramów, stanowią wiarygodne odwzorowanie graficzne umożliwiające zastosowanie wyników moich badań w zbliżonych typologicznie grupach/sektorach budownictwa.

#### 4.4.2 Problem badawczy w kontekście istniejącego stanu wiedzy

Przekroczenie zaplanowanego kosztu i wydłużenie czasu realizacji prac jest często integralną częścią realizacji wielu przedsięwzięć budowlanych (Kowalski i inni, 2021; Makesh i Mathivanan, 2019; Rachid i inni, 2019). W zależności od źródła danych wartości przekroczeń różnią się. Według Flyvbjerg i inni (2004) przekroczenie kosztu występuje w aż 9 na 10 przedsięwzięć budowlanych, a wartość przekroczenia może sięgać nawet 183%. Przykładowo, w Holandii średnie przekroczenie kosztu wyniosło 16,5% (Cantarelli i inni, 2012), w Portugalii 24% (Miranda Sarmiento i Renneboog, 2017), a w Katarze 54% (Senouci i inni, 2016).

Przekroczenie kosztu (zamiennie: wzrost kosztu lub przekroczenie budżetu) w budownictwie odnosi się do sytuacji, w której rzeczywisty koszt poniesiony w trakcie realizacji przedsięwzięcia budowlanego przekracza początkowy budżet lub szacunkowy koszt wyznaczany przez inwestora. Oznacza to, że przekroczenie kosztu ma miejsce wtedy, gdy ostateczny koszt przedsięwzięcia budowlanego przekracza jego pierwotny budżet. Praktyka inżynierska potwierdza, że w większości przedsięwzięć budowlanych rzeczywisty koszt rośnie w stosunku do zaplanowanego (Karunakaran i inni, 2018; Plebankiewicz, 2018) i zjawisko to stało się niemal naturalną częścią przedsięwzięć budowlanych, zarówno obiektów kubaturowych jak i infrastrukturalnych.

Niedokładne oszacowanie kosztu na etapie planowania przedsięwzięcia budowlanego, tj. podczas budżetowania i określania zakresu projektu, oraz niewłaściwe zaplanowanie procesu inwestycyjnego jest jedną z najczęściej omawianych w literaturze

przyczyn wystąpienia przekroczenia kosztu (Asiedu i Adaku, 2020). Innymi przyczynami przekroczenia kosztu są m.in. błędy lub braki w dokumentacji projektowej, które prowadzą do zmian projektowych (Aslam i inni, 2019; Han i inni, 2013; Larsen i inni, 2016; Love i inni, 2009; Polat i inni, 2014), nierealistyczny czas trwania robót budowlanych (Gunduz i Maki, 2018), brak dostępności wykwalifikowanej siły roboczej (Derakhshanalavijeh i Teixeira, 2017) i kadry zarządzającej (Alhamadi i Memon, 2020), brak skutecznej koordynacji między uczestnikami procesu inwestycyjnego (Yap i Skitmore, 2020), brak doświadczenia wykonawców robót (Amusan i inni 2018), zmienne warunki atmosferyczne (Senouci i Mubarak, 2016).

Przekroczenie kosztu stało się problemem ogólnoswiatowym ze względu na skomplikowany charakter etapu planowania, projektowania, realizacji oraz utrzymania inwestycji budowlanej. Rozbieżności między planowanym a rzeczywistym kosztem niosą za sobą negatywne skutki i konsekwencje finansowe dla sektora publicznego i prywatnego. Wywołują one negatywne skutki gospodarcze dla całej branży budowlanej, a także dla wykonawców budowlanych, podwykonawców, projektantów, itp.

Przekroczenie kosztu ma znaczący wpływ m.in. na: rentowność finansową przedsiębiorstw budowlanych, termin zakończenia przedsięwzięcia budowlanego, a także może zaszkodzić reputacji przedsiębiorstwa budowlanego i doprowadzić do utraty zaufania ze strony interesariuszy, w tym inwestorów, klientów i pracowników. Dodatkowo banki udzielające kredyty inwestycyjne stają przed istotnym wyzwaniem związanym z finansowaniem i z nierealnymi rezerwami budżetowymi.

Inwestorzy przygotowując przedsięwzięcia budowlane opracowują budżety inwestycji, które, jak wynika z doświadczenia zawodowego, nie zawsze odzwierciedlają rzeczywistość. Aby urealnić rezerwy budżetowe banki potrzebują specjalistów z zakresu inżynierii, którzy będą prowadzić badania umożliwiające pomiar rzeczywistego kosztu realizacji przedsięwzięcia budowlanego przeznaczonego do finansowania kredytem inwestycyjnym. W związku z tym wydaje się uzasadnione prowadzenie badań, które prowadzą do dostosowania rezerw inwestycyjnych do stanu faktycznego i dopasowania kosztu planowanego prognozowanych przedsięwzięć budowlanych do ich kosztu rzeczywistego.

Międzynarodowa organizacja PMI (*Project Management Institute*) istniejąca od 1969 roku i zrzeszająca ponad 600 000 ekspertów zarządzania projektami, działających niemalże w każdym kraju na świecie podaje, że w obecnych czasach 80% przedsięwzięć budowlanych kończy się przekroczeniem budżetu.

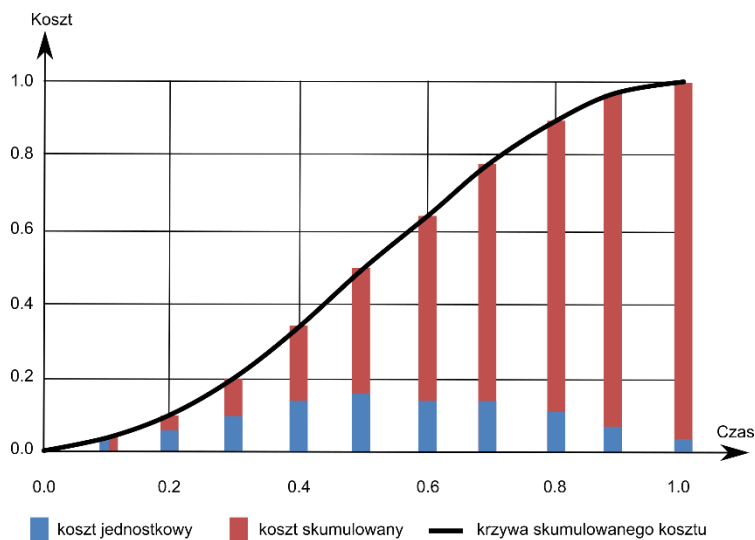
**Przekroczenie kosztu stanowi istotne wyzwanie dla inwestorów i wykonawców robót budowlanych, utrudniając osiągnięcie zysku ze zrealizowanego przedsięwzięcia. Tylko dzięki skutecznym mechanizmom monitorowania możliwa jest minimalizacja występowania tego zjawiska, dlatego tak kluczowe jest wdrożenie skutecznej metody planowania budżetu inwestycyjnego i kontroli rzeczywistego kosztu podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego.**

#### **4.4.3 Stosowane metody i narzędzia do planowania i monitorowania przedsięwzięć budowlanych w kontekście istniejącego stanu wiedzy**

Do powszechnie znanych i stosowanych metod oraz narzędzi do planowania i monitorowania przedsięwzięć budowlanych zaliczyć można: metodę opartą na analizie krzywej skumulowanego kosztu realizacji przedsięwzięcia budowlanego (Metoda Krzywej „S”) oraz Metodę Wartości Wypracowanej.

## I. Analiza krzywej skumulowanego kosztu - Metoda Krzywej „S”

Przedstawienie planowanych przepływów finansowych na osi czasu za pomocą wykresu skumulowanego kosztu jest prostym i skutecznym narzędziem do pomiaru użycia nakładów finansowych przedsięwzięcia budowlanego (Cristóbal, 2017). Krzywa skumulowanego kosztu „S” przedstawia postęp przedsięwzięcia budowlanego od rozpoczęcia prac budowlanych, aż do ich zakończenia. Koszt skumulowany jest sumą kosztu poniesionego przez wszystkie zasoby przydzielone do danego zadania. Graficznie krzywa skumulowanego kosztu przypomina kształt litery „S”. Na rysunku 1 przedstawiłem przykładową „wzorcową” krzywą skumulowanego kosztu (krzywa „S”).



Rysunek 1. Wzorcową krzywą skumulowanego kosztu (krzywa „S”)

Na podstawie gromadzonych na bieżąco danych finansowych możliwe jest generowanie i porównywanie krzywych planowanego oraz rzeczywistego kosztu (Tijanić & Car-Pušić, 2017).

Do odwzorowania kształtu krzywej skumulowanego kosztu wykorzystywano dotychczas wiele narzędzi, m.in. teorię zbiorów rozmytych (Hsieh i inni, 2005; Mohagheghi i inni, 2017), metodę najmniejszych kwadratów oraz regresji rozmytej (Hsieh i inni, 2006), metody wykorzystujące elementy sztucznej inteligencji (Chao i Chien, 2010; Chao i Chen, 2015), a także elementy technologii BIM (Wang i inni, 2016).

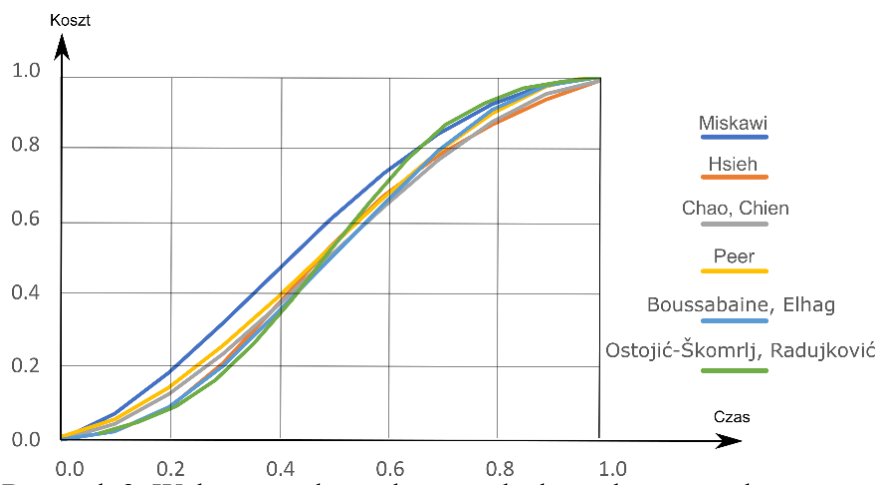
W prowadzonych badaniach mają zastosowanie również empiryczne metody prognozowania przebiegu krzywej kosztu skumulowanego w różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych. Istniejące w literaturze matematyczne modele krzywej kosztu oparte są na rzeczywistych, historycznych danych, dotyczących przedsięwzięć budowlanych realizowanych m.in. w Wielkiej Brytanii (Blyth i Kaka, 2006), Iranie (Banki i Esmaeeli, 2008), Tajwanie (Chao i Chien, 2009), Stanach Zjednoczonych (Jiang i inni, 2011), krajach azjatyckich (Mohamad i inni, 2021).

Kolejni badacze podejmowali różne próby opisanie przebiegu krzywej kosztu za pomocą matematycznych zależności między zmiennymi parametrami, tj. czasem i kosztem. W tabeli 2 przedstawiłem zaproponowane przez różnych badaczy modele matematyczne odzwierciedlające przebieg krzywej skumulowanego kosztu, natomiast na

rysunku 2 przedstawiłem ich graficzną interpretację, w postaci wykresów krzywych skumulowanego kosztu.

Tabela 2. Wybrane modele matematyczne opisujące kształt krzywej skumulowanego kosztu.

Autor	Wzór	Uwagi
Peer (1982)	$T = 0,0089 + 0,26981 \cdot t + 2,36949 \cdot t^2 - 1,39030 \cdot t^3$	wielomian 3-go stopnia
Miskawi (1989)	$T = \frac{3^t}{2} \cdot \sin \left[ \frac{\pi(1-t)}{2} \right] \cdot \sin(\pi t) \log \left( \frac{t + (1,5 - T_p)}{T_p + t} \right) - 2t^3 + 3t^2$	$T_p$ – współczynnik kształtu, który może przyjmować wartości od 0,05 do 0,95
Boussabaine i Elhag (1999)	$T = \frac{9 \cdot t^2}{4}$ , dla $0 < t < \frac{1}{3}$ $T = \frac{9 \cdot t}{2} - \frac{1}{4}$ , dla $\frac{1}{3} < t < \frac{2}{3}$ $T = \frac{9 \cdot t}{4} - \frac{9 \cdot t^2}{4} - \frac{5}{4}$ , dla $\frac{2}{3} < t < 1$	wielomian 2-go stopnia
Hsieh i inni (2004)	$T = +0,25 \cdot t - 1,98 \cdot t^2 + 23,07 \cdot t^3 - 49,49 \cdot t^4 + 42,07 \cdot t^5 - 12,93 \cdot t^6$	wielomian 6-go stopnia
Chao i Chien (2009)	$T = 0,215 \cdot t + 2,1414 \cdot t^2 - 1,629 \cdot t^3$	wielomian 3-go stopnia
Ostojic-Skomrlj i Radujkovic (2012)	$T = -0,0643212823 + 0,562316845 \cdot t - 0,0278540885 \cdot t^2 + 0,0016474856 \cdot t^3 - 0,000023498997 \cdot t^4 + 0,0000001165 \cdot t^5 - 0,0000000001 \cdot t^6$	wielomian 6-go stopnia



Rysunek 2. Wybrane wykresy krzywych skumulowanego kosztu

Przedstawione na rysunku 2 krzywe skumulowanego kosztu wyznaczają, w ramach pewnej obwiedni, obszar przepływów pieniężnych. Dlatego uważam, że **nie jest możliwe posługiwanie się jednym, modelowym, teoretycznym lub empirycznym wyrażeniem matematycznym opisującym przebieg krzywej skumulowanego kosztu. Podczas planowania i monitorowania przebiegu krzywej kosztowej wskazane jest posługiwanie się obwiednią krzywych.**

Porównując proponowane przez poszczególnych autorów modele matematyczne opisujące kształt krzywej skumulowanego kosztu zauważyłem, że do ich opisu wykorzystywano najczęściej: wielomian 6-go stopnia (Hsieh i inni, 2004; Ostojic-Skomrlj

i Radujkovic, 2012, wielomian 3-go stopnia (Peer, 1982; Miskawi, 1989; Chao i Chien, 2009), rzadziej wielomian 2-go stopnia i funkcję liniową (Boussabaine i Elhag, 1999).

Wykres krzywej skumulowanego kosztu jest krzywą o zmiennych nachyleniu, dlatego zastosowanie wielomianu 1-go stopnia (funkcji liniowej) lub 2-go stopnia (trójmianu kwadratowego) nie pozwala na prawidłowe, rzeczywiste odzwierciedlenie jej przebiegu. Przyjęcie takiego opisu krzywej może prowadzić do popełnienia błędu i uzyskania niewiarygodnego, nierzeczywistego kształtu krzywej kosztowej (Bousabaine i Elhag, 1999; Cioffi, 2005).

W związku z powyższym stwierdziłem, że do opisu przebiegu krzywej skumulowanego kosztu zasadne jest stosowanie tylko wielomianów wyższego rzędu, minimum 3-go stopnia. Mimo, że zastosowanie wielomianu 6-go stopnia pozwala na uzyskanie wysokiej wartości współczynnika korelacji (bliskiego jedności, świadczącego o występowaniu bardzo silnej zależności korelacyjnej i bardzo dobrym opisaniu badanego zjawiska) i niskiej wartości współczynnika zmienności (świadczącego o małej zmienności cechy i jednorodności badanej populacji) to jego praktyczne zastosowanie może być trudne i zbyt skomplikowane dla decydentów, m.in. inwestorów, wykonawców robót.

Z praktycznego punktu widzenia decydenta stosowanie wielomianów wyższych rzędów (wyższych niż wielomian 4-go stopnia) może być trudne do zastosowania. **Z tego powodu poszukiwałem prostych modeli/formuł matematycznych, które umożliwią prawidłowe odwzorowanie przebiegu krzywej skumulowanego kosztu.**

## II. Metoda Wartości Wypracowanej

Stosowanie Metody Wartości Wypracowanej (*Earned Value Method* – EVM) to dobrze znany system zarządzania projektami, rekomendowany przez znane metodyki takie jak PMBoK Guide (*Project Management Body of Knowledge Guide*) oraz IPMA (*International Project Management Association*), który integruje koszt, harmonogram i wydajność techniczną (Abba, 2000; De Marci i Narbaev, 2013). Metoda Wartości Wypracowanej jest metodą pomiaru rzeczywistego postępu projektu (Zohoori i inni, 2019) i polega na kontroli zadania inwestycyjnego poprzez cykliczne porównywanie rzeczywiście zrealizowanego zakresu prac z ich planowanym czasem wykonania i planowanym kosztem realizacji, zgodnie z przyjętym planowanym harmonogramem rzeczowo-finansowym opracowanym na początku realizacji przedsięwzięcia budowlanego (Chen i inni, 2016). Metoda ta umożliwia obliczanie odchyleń kosztu i harmonogramu oraz wskaźników wydajności oraz prognoz kosztu i czasu trwania przedsięwzięcia budowlanego (Bhosekar i Vyas, 2012; Waris i inni, 2012), a także pozwala na wczesne poznanie wskaźników realizacji projektu, pomocne do planowania ewentualnych działań naprawczych (Khamidi i inni, 2011).

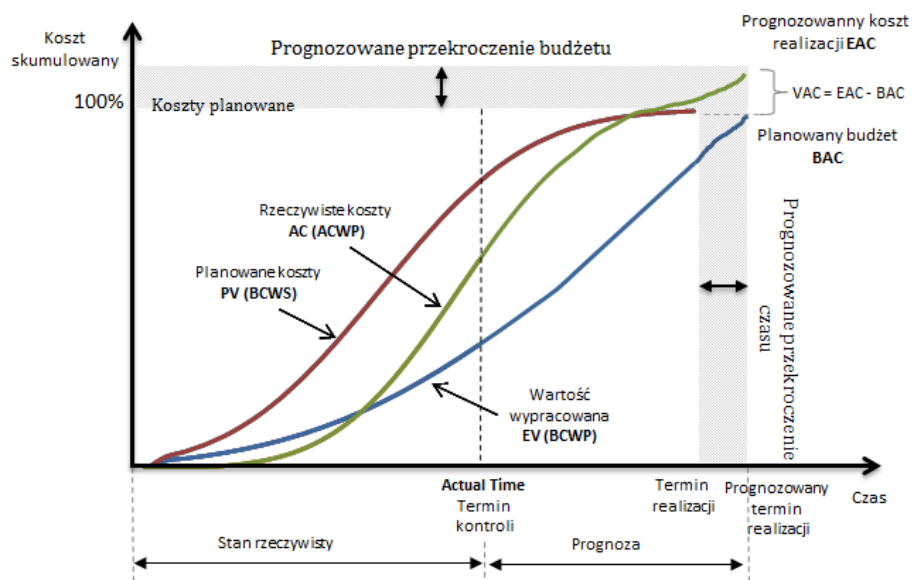
Metoda Wartości Wypracowanej posługuje się kilkoma wartościami, takimi jak:

- planowana wartość (*planned value* – PV), określana również jako planowany koszt planowanej pracy (*budgeted cost of work scheduled* – BCWS),
- wartość wypracowana (*earned value* – EV), określana jako planowany koszt rzeczywiście wykonanej pracy (*budgeted cost of work performer* – BCWP),
- rzeczywisty koszt (*actual cost* - AC), określany jako rzeczywisty koszt rzeczywiście wykonanej pracy (*actual cost of work performer* – ACWP),

a także wyznaczanymi odchyleniami i wskaźnikami, a mianowicie:

- odchylenie od harmonogramu (*schedule variance – SV*),
- odchylenie od kosztu (*cost variance – CV*),
- wskaźnik wykonania harmonogramu (*schedule performance index – SPI*),
- wskaźnik wykonania kosztu (*cost performance index – CPI*),
- przewidywany, szacowany koszt zakończenia (wykonania) całości przedsięwzięcia budowlanego (*estimation at completion – EAC*),
- przewidywany, szacowany czas zakończenia (wykonania) całości przedsięwzięcia budowlanego (*estimated time at completion – ETTC*).

W tej metodzie wartości takie jak: *BCWS*, *BCWP* i *ACWP* są funkcją czasu i graficznie można przedstawić je w postaci krzywych, tak jak w analizie krzywej skumulowanego kosztu. I tak, na etapie planowania przedsięwzięcia budowlanego powstaje krzywa *BCWS*, która przedstawia planowany koszt planowanych robót. Pozostałe dwie krzywe (*BCWP*, *ACWP*) wyznaczone są w trakcie trwania przedsięwzięcia, na podstawie danych uzyskiwanych podczas jej monitorowania. Krzywe te wyznacza się na aktualny moment monitorowania inwestycji, tj. na aktualny dzień kontroli. Na rysunku 3 przedstawiłem przykładową, graficzną interpretację Metody Wartości Wypracowanej.



Rysunek 3. Metoda Wartości Wypracowanej

W literaturze można odnaleźć wiele prac przedstawiających skuteczne zastosowanie Metody Wartości Wypracowanej w rzeczywistych przedsięwzięciach budowlanych (Vandevoorde i Vanhoucke, 2006; Kwon i inni, 2008; Khamidi i inni, 2011; Połośński i Komendarek, 2011; Priyo, 2021; Przywara & Rak, 2021).

Metoda Wartości Wypracowanej zakłada, że czas trwania i koszt są określane dla aktualnego momentu monitorowania inwestycji, a jej wskaźniki wskazują czy przedsięwzięcie budowlane jest opóźnione lub czy przekroczony został budżet. Uważam, że **Metoda Wartości Wypracowanej nie określa, czy odchylenia wartości rzeczywistych mieszczą się (czy też nie) w zakresie możliwych odchylen od wartości planowanych, wynikających z oczekiwanej zmienności przedsięwzięcia.** Innymi słowy,

nawet jeśli przedsięwzięcie budowlane jest opóźnione w momencie kontroli, biorąc pod uwagę nieodłączną zmienność realizacji i jego zadań, opóźnienie prawdopodobnie pozostaje w zakresie możliwych i akceptowalnych opóźnień. W takim przypadku decydent nie jest zmuszony do nagłego podejmowania działań naprawczych. Ponadto, ze względu na deterministyczne szacowanie np. terminu zakończenia, Metoda Wartości Wypracowanej nie pozwala na określenie zakresu możliwych spodziewanych efektów realizacji.

Jednym z problemów w stosowaniu Metody Wartości Wypracowanej w praktyce inżynierskiej jest trudność w poprawnym określeniu lub oszacowaniu wartości wypracowanej (*BCWP*). Wartość wypracowana, zwana również jako planowany koszt rzeczywiście wykonanej pracy, to miara faktycznego postępu prac, czyli koszt całego postępu prac, uzyskanego w przedsięwzięciu budowlanym lub jego części, liczony do daty raportu i wyrażony w kategoriach planowanego kosztu. Wskaźnik ten pozwala określić ile zgodnie z planem kosztowałyby rzeczywiście wykonana praca. Istotną kwestią jest prawidłowe określenie rzeczywistego zaawansowania prac w stosunku do planu (harmonogramu) (Konior, 2019). Precyzyjne określenie tej wartości jest problematyczne, ponieważ najczęściej w praktyce inżynierskiej rzeczywiste zaawansowanie wykonanych prac uzyskuje się poprzez oszacowanie przez inspektora nadzoru inwestorskiego, lub bankowego inspektora nadzoru, procentowego zaawansowania prac. Subiektywna ocena zaawansowania prac oparta jest na doświadczeniu inspektorów budowlanych. Dla wielu przedsięwzięć budowlanych tak określone zaawansowanie prac stanowi podstawę do opracowania przerobu prac budowlanych wykonanych w danym okresie rozliczeniowym. Zaakceptowany przez inspektora nadzoru inwestorskiego i wykonawcę robót przerób stanowi podstawę do zafakturowania prac. W związku z powyższym bardzo często wartość wypracowana (*BCWP*) równa się wartości rzeczywiście poniesionego kosztu wykonanych prac (*ACWP*). Oznacza to, że  $BCWP = ACWP$ , a odpowiednio krzywe skumulowanego kosztu pokrywają się.

Istotnym problemem w stosowaniu Metody Wartości Wypracowanej jest również jakość uzyskanych danych finansowo-rzeczowych z placu budowy. Metoda jest bardzo wrażliwa z uwagi na wprowadzane dane i aktualizacje harmonogramu rzeczowo-finansowego (Dziadosz i inni, 2014). Aby uzyskać najbardziej wiarygodne i rzeczywiste oszacowanie kosztu i czasu trwania przedsięwzięcia budowlanego, należy prowadzić analizy zgodnie z faktycznym postępem realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Szacowany rzeczywisty koszt i czas trwania nie jest niezawodny w pierwszym okresie trwania inwestycji, a stabilizuje się dopiero w drugim okresie, w którym, w zależności od scenariusza przyjętego dla dalszych prac, szacuje rzeczywiste wartości z większą dokładnością (Ziółkowska i Połośki, 2015). Ponadto, wszystkie wskaźniki obliczane są w jednostkach pieniężnych, w tym również odchylenie od harmonogramu, przez co utrudniona jest analiza i ocena wyników (Bagherpour i inni, 2020).

Dodatkowymi problemami, które pojawiają się w praktycznym zastosowaniu tej metody są m. in.: trudność w prawidłowym i rzeczywistym określeniu procentowego zaawansowania zadań, które zostały rozpoczęte, lecz nie zostały zakończone w momencie kontroli, a także niepełne dane o rzeczywistych kosztach poniesionych na dzień kontroli. Występujące nieprawidłowości mogą prowadzić do błędnych interpretacji otrzymanych wskaźników, a także nieprawidłowego wnioskowania (Czarnigowska, 2008, 2009)

Powyższe trudności wpłynęły na rozwój alternatywnych metod, bazujących na założeniach Metody Wartości Wypracowanej, podejmujących próby bardziej wiarygodnego prognozowania całkowitego kosztu i terminu końcowego przedsięwzięć, np.

poprzez podział przedsięwzięcia budowlanego na mniejsze zakresy robót (Howes, 2000), stosowanie metod statystycznych (Chen i inni, 2020; Lipke i inni, 2009), zbiorów rozmytych (Salari i inni, 2015; Salari i Khamooshi, 2016; Hajali-Mohamad i inni, 2016; sztucznej inteligencji (Yaseen i inni, 2020).

Metoda Wartości Wypracowanej dzięki prowadzonym badaniom ulegała i nadal ulega ciągłym modyfikacjom (Vandevoorde i Vanhoucke, 2006). Rozszerzenie metody uzyskiwano poprzez wprowadzenie nowych, dotychczas niewystępujących w metodzie parametrów/wskaźników pozwalających na prowadzenie, zdaniem ich autorów, dokładniejszych obliczeń, np. wskaźnika prognozy harmonogramu (SFI - Schedule forecast indicator) (Czemplik, 2014), wskaźnika stabilności prognozowania wartością wypracowaną (Wauters i Vanhoucke, 2014), wskaźnika efektywności ryzyka (Babar i inni, 2016), określenia wpływu nieplanowanych odchyleń czasowych i kosztowych na płynność finansową przedsięwzięcia budowlanego (Przywara i Rak, 2017), analizy ryzyka (Dziadosz, 2017), warunków niepewności (Almeida i inni, 2021), oceny opłacalności przedsięwzięć budowlanych w losowych warunkach realizacji (Starczyk-Kołbyk, 2019; Starczyk-Kołbyk i Kruszka, 2021; Kasprovicz i inni, 2022), wprowadzenia odchyleń czasowych od harmonogramu (T/S) oraz odchyleń od planowanego kosztu (T/C) (Przywara i Rak, 2021).

### III. Podsumowanie istniejącego stanu wiedzy

**Pomimo dostępności różnych metod oraz narzędzi wspomagających planowanie i monitorowanie przedsięwzięć budowlanych nadal wykonawcy robót bardzo często nie osiągają zaplanowanych celów kosztowych i czasowych.**

Obie przedstawione metody (Metoda Krzywej „S” oraz Metoda Wartości Wypracowanej), w ich podstawowym zastosowaniu, służą do kontrolowania i/lub monitorowania przebiegu realizacji robót budowlanych. Chciałbym jednak podkreślić, że przedmiotem cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych nie jest tylko monitorowanie przebiegu realizacji robót budowlanych, ale również etap planowania przedsięwzięcia budowlanego, poprzedzający etap wykonawstwa.

**Moje rozpoznanie naukowe i doświadczenia zawodowe wskazują, że dotychczas proponowane modele planowanych krzywych skumulowanego kosztu zazwyczaj odbiegają od rzeczywistości i są zbyt skomplikowane, a przez to mało praktyczne w zarządzaniu przedsięwzięciami budowlanymi.** Jak wskazują autorzy badań jak i praktycy, dla decydentów przedsięwzięć budowlanych, tj.: inwestorów, kierowników budowy, kierowników robót, podczas planowania, a także monitorowania i kontrolowania postępów prac istotne jest stosowanie dostępnych i łatwo funkcjonalnych algorytmów, programów czy metod obliczeniowych, które nie są obarczone wieloma trudno mierzalnymi zmiennymi i niepewnościami, trudnymi do jednoznacznego określenia. Aparat obliczeniowy musi być prosty i zrozumiały dla każdego (de Neufville i inni, 2006).

**Dlatego w prowadzonych badaniach starałem się znaleźć kompromis pomiędzy przystępnością i niskim stopniem skomplikowania obliczeń, a potencjałem informacyjnym zaproponowanej autorskiej metody prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsięwzięciach budowlanych. Istotą zaproponowanej, autorskiej metody jest jej aplikacyjność, opierająca się na powszechnie dostępnych systemach/programach komputerowych.**



Omawianą tematyką zainteresowałem się już w czasie studiów magisterskich, przygotowując pracę dyplomową „*Analiza czasowo-kosztowa wariantów organizacji robót*”. Następnie podczas międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych przysłuchiwałem się tym zagadnieniom, przygotowując rozprawę doktorską z zagadnień bezpieczeństwa pracy, i dogłębniej tematyką zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi zacząłem zajmować się w 2017 r., w momencie nawiązania współpracy naukowej oraz zawodowej z dr hab. inż. Jarosławem Koniorem, prof. uczelni, czego efektem jest samodzielne prowadzenie badań własnych w prezentowanej w autoreferacie tematyce od ponad 7 lat. Badania rozpocząłem od przeprowadzenia gruntownego rozpoznania literaturowego i zidentyfikowania nierozwiązanych problemów naukowych, następnie sprecyzowałem ogólny cel badań i opracowałem ich plan, który na bieżąco korygowałem i konsekwentnie realizowałem. Uzyskane rezultaty prezentowałem na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych i naukowo-technicznych, a przede wszystkim sukcesywnie publikowałem w czasopiśmie naukowych, budując cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, będący podstawą ubiegania się o nadanie mi stopnia doktora habilitowanego.

Każda część badawcza artykułów, wchodzących w cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, kończy się podsumowaniem z dyskusją i szczegółowymi wnioskami. Przedmiotem cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych są rezultaty własnych badań, których jestem autorem lub współautorem.

#### **4.4.4 Przedmiot i cel powiązanego tematycznie cyklu artykułów**

Celem głównym cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych jest **opracowanie autorskiej metody, dzięki której możliwe jest prognozowanie przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsięwzięciach budowlanych**. Prawidłowe zaplanowanie kosztu w czasie stanowi podstawową i konieczną informację dla decydenta procesu budowlanego, dla którego najbardziej pożądaną kwestią jest uzyskanie najbardziej zbliżonego (najmniej odbiegającego, odchylającego się) rzeczywistego przebiegu kosztu do planowanego.

Postawiony przeze mnie cel osiągnięcia naukowego mieści się w zakresie badań, organizacji i planowania przedsięwzięć budowlanych prowadzonych przez Sekcję Inżynierii Budowlanej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Państwowej Akademii Nauk. Zakres przedstawionego osiągnięcia naukowego porusza takie pola badawcze Sekcji jak: planowanie przedsięwzięć budowlanych, analiza kosztowa przedsięwzięć budowlanych, inżynieria finansowa, monitorowanie przedsięwzięć budowlanych, optymalizacja kosztowa przebiegu procesów budowlanych.

Celem cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych jest doskonalenie i rozwój metod związanych z zarządzaniem przedsięwzięciami budowlanymi, a w szczególności metod planowania i kontroli budżetu przedsięwzięcia budowlanego. Zaproponowany model może mieć praktyczne zastosowanie w zakresie analizy finansowania przedsięwzięcia budowlanego przez wykonawców robót oraz kształtowania kosztu w czasie.

Cele szczegółowe moich badań i analiz były następujące:

- **zbudowanie bazy wiedzy w zakresie metod i narzędzi do planowania i monitorowania przedsięwzięć budowlanych,**
- **zbudowanie, na drodze badawczej, reprezentatywnego zbioru danych o przebiegu przedsięwzięć budowlanych na potrzeby prowadzonych badań,**
- **opracowanie autorskiej metodyki badań prognozowania przebiegu krzywej kosztu skumulowanego i obszaru kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych,**
- **analiza planowanego kosztu wynikającego z harmonogramu prac i rzeczywistego kosztu poniesionego w trakcie realizacji przedsięwzięć budowlanych,**
- **zaproponowanie autorskiej, skutecznej metody prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych,**
- **opracowanie i zastosowanie współczynników korelacji do oceny zaproponowanych metod i modeli wraz z podaniem ich parametrów,**
- **zaproponowanie, na podstawie przebiegu planowanego i rzeczywistego skumulowanego kosztu, modelu prognozowania najlepszego dopasowania krzywej kosztowej w wybranych przedsięwzięciach budowlanych w postaci funkcji wielomianowej,**
- **zaproponowanie obszaru najlepszego dopasowania przebiegu krzywej kosztowej do planowania i monitorowania skumulowanego kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych.**

#### **4.4.5 Próba badawcza**

##### **4.4.5.1 Wkład własny w opracowanie próby badawczej**

Od 7 lat, tj. od 2017 roku do teraz, świadczę usługi Bankowego Inspektora Nadzoru dla banków udzielających kredyty inwestycyjne dla zamówień niepublicznych. Zgromadzone przeze mnie w tym okresie dane do opracowania autorskiej metodyki badań prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji, najlepszego dopasowania przebiegu krzywej kosztowej i obszaru kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych są wynikiem pracy zawodowej i własnych doświadczeń.

Pozostałe dane, z lat 2006 – 2017, pochodzą z archiwum usług Bankowego Inspektora Nadzoru i zostały mi udostępnione do prowadzonych analiz przez ich autora – dr hab. inż. Jarosława Koniora, prof. uczelni (oświadczenie o zgodzie na wykorzystanie dokumentów źródłowych z lat 2006 – 2017 stanowi załącznik 7). Cała zgromadzona próba badawcza to wynik 18 letniej pracy Bankowego Inspektora Nadzoru.

W tym miejscu uważam za zasadne przybliżyć czym zajmuje się Bankowy Inspektor Nadzoru. Dla niepublicznych zadań inwestycyjnych, współfinansowanych przez dwa podmioty: inwestora oraz bank, powoływany jest trzeci, niezależny podmiot – Bankowy Inspektor Nadzoru, który pełni funkcję monitorującą i audytorską. Bankowy Inspektor Nadzoru pozwala ograniczyć ryzyko kredytowe poprzez systematyczne dostarczanie kompleksowych i rzetelnych informacji dotyczących rzeczywistego przebiegu przedsięwzięcia budowlanego. Bankowy Inspektor Nadzoru, jako zewnętrzny audytor, dzięki regularnym wizytom na budowie określa postępy i jakość prac, zgodność z harmonogramem, budżetem i przepisami prawa budowlanego. Na podstawie cyklicznych raportów Bankowy Inspektor Nadzoru może szybko wykryć możliwe problemy,

przewidzieć przekroczenie kosztu i opóźnienia. Dlatego usługa Bankowego Inspektora Nadzoru wymaga od jego wykonawcy wiedzy, w tym przypadku ode mnie, wiedzy zarówno z zakresu inżynierii finansowej jak i wiedzy technicznej dotyczącej przebiegu przedsięwzięć budowlanych (menedżera budowlanego). Do zadań Bankowego Inspektora Nadzoru (BIN) należy m.in.:

- raportowanie wstępne, obejmujące weryfikację dokumentacji dostarczonej przez inwestora wraz ze wszystkimi pozwoleniami i decyzjami administracyjnymi oraz planowanym budżetem,
- raportowanie miesięczne, czyli stały monitoring realizacji inwestycji, rzetelne monitorowanie stanu realizacji inwestycji, weryfikacja i akceptacja rozliczeń i faktur, analiza warunków wypłat transz kredytowych, ewentualne rekomendowanie i wprowadzanie programów naprawczych,
- raportowanie końcowe, obejmujące końcową analizę finansową realizacji inwestycji wraz z dokumentacją uzyskania ostatecznych pozwoleń na oddanie obiektu do użytkowania.

W fazie realizacji opracowywane są przez Bankowego Inspektora Nadzoru dokumenty pozwalające na odwzorowanie i przedstawienie rzeczywistego przebiegu procesu budowlanego. Z opracowanych przez Bankowego Inspektora Nadzoru comiesięcznych raportów możliwe jest pozyskanie informacji m.in. o zaawansowaniu zrealizowanych prac w poszczególnych okresach realizacji, wartościach robót zrealizowanych w poszczególnych okresach realizacji, wartościach robót zrealizowanych narastająco od początku rozpoczęcia prac, itp.

Prowadząc badania jako Bankowy Inspektor Nadzoru gromadziłem i przetwarzałem dane kosztowe, poprzez prowadzenie comiesięcznych, bezpośrednich inspekcji techniczno-finansowych na placach budów, realizowanych przedsięwzięć budowlanych. Zebrane dane w bazie wiedzy są wynikiem pomiarów bieżącego stanu zaawansowania harmonogramu i przerobu robót budowlanych. Narastające wartości przerobów prac na budowie stanowią skumulowany koszt, który określany cyklicznie i spójnie wyznacza przebieg krzywej kosztowej.

Każda wartość kosztu wykonanych robót budowlanych w kontrolowanym okresie rozliczeniowym była wielokrotnie sprawdzana i weryfikowana – najpierw przez generalnego wykonawcę i podwykonawców, potem przez wielobranżowych inspektorów nadzoru, następnie przez zespół Bankowego Inspektora Nadzoru i ostatecznie przez Departament Analiz Ryzyk Inwestycyjnych Banku Finansującego. Wartości przerobów i koszt wykonanych robót budowlanych były każdorazowo przedstawiane i przetwarzane dokumentacyjnie – w protokołach przerobu i w raportach Bankowego Inspektora Nadzoru. Wydanie raportów: wstępnego, miesięcznych i końcowego było poprzedzone wewnętrznym sprawdzeniem poprawności i weryfikacją spójności środków finansowych wskazywanych do finansowania lub refinansowania przez bank. Zatem dane o zrealizowanych przedsięwzięciach budowlanych są wiarygodne, spójne i czytelne. Ponieważ analizowane raporty opracowywane były wg jednolitej metody zbierania danych o przedsięwzięciach budowlanych, niezależnie od typu obiektu budowlanego, to informacje o przebiegu historycznych przedsięwzięć budowlanych są niepodważalne i deterministyczne.

#### 4.4.5.2 Charakterystyka próby badawczej

W ramach prowadzonych badań zgromadziłem celową próbę badawczą, zawierającą dane dotyczące 45 przedsięwzięć budowlanych, z ograniczeniami, wynikającymi m.in. z:

- czasu trwania przedsięwzięć budowlanych,
- dostępności do wiarygodnych danych o przebiegu przedsięwzięć budowlanych.

Pozyskanie wiarygodnego materiału badawczego do badań, w postaci raportów: wstępnego, miesięcznych oraz końcowego, to długotrwały i pracochłonny proces. Zgromadzenie kompletnego zbioru danych, dla przebiegu pojedynczego przedsięwzięcia budowlanego, trwa od 6 do niekiedy nawet 34 miesięcy i wynika z całkowitego czasu trwania analizowanego przedsięwzięcia budowlanego. W zgromadzonym zbiorze danych średni czas trwania pojedynczego przedsięwzięcia budowlanego wynosi 18 miesięcy.

Zgromadzona próba badawcza zawiera dane dotyczące wybranych przedsięwzięć budowlanych, co oznacza, że jest to zbiór zamknięty. Wybór przedsięwzięć budowlanych do badań był ode mnie niezależny i wynika bezpośrednio z pozyskanych zleceń na pełnienie usług Bankowego Inspektora Nadzoru. Aby zgromadzony materiał badawczy mógł być ze sobą porównywany wymagane jest, aby dokumenty źródłowe, w tym przypadku raporty, opracowane były wg jednolitej metody zbierania danych o przedsięwzięciach budowlanych, niezależnie od typu obiektu budowlanego. I tak w badaniach opracowałem próbę badawczą, która pochodzi od jednego, niezależnego podmiotu świadczącego usługi Bankowego Inspektora Nadzoru.

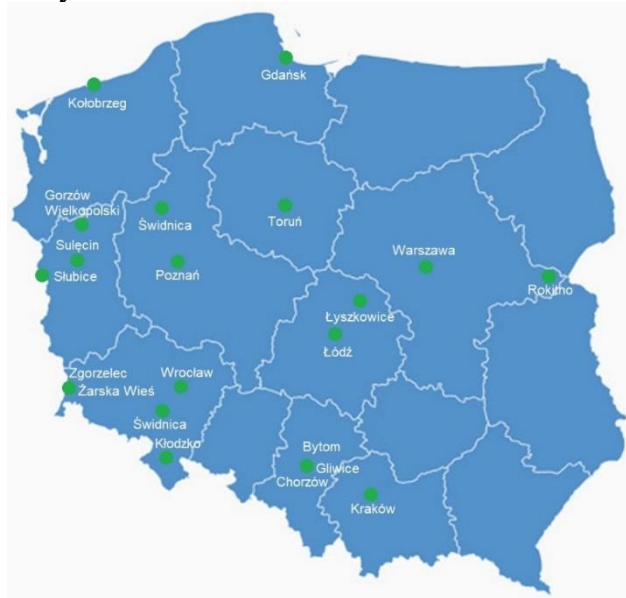
W prowadzonych badaniach istotne były dla mnie cechy charakterystyczne dla jednorodnych grup / sektorów budownictwa, dlatego dobór próby badawczej był celowy. Na podstawie zgromadzonych danych mogłem wyodrębnić typologiczne próby badawcze dla przedsięwzięć budowlanych o zbliżonym profilu i kategorii obiektów budowlanych, co pozwoliło mi zgromadzić reprezentatywną typologicznie próbę badawczą.

W badaniach analizie poddałem przedsięwzięcia budowlane realizowane w latach 2006 – 2023. Na podstawie badań ruchu budowlanego prowadzonych przez Główny Urząd Nadzoru Budowlanego (GUNB, 2006 – 2023) przeanalizowałem liczbę decyzji o pozwoleniu na budowę oraz liczbę obiektów budowlanych przekazanych do użytkowania w analizowanym okresie. Z publikowanych przez GUNB zestawień wyodrębniłem dane liczbowe dotyczące grup/sektorów budownictwa zgromadzonych w bazie wiedzy i określiłem wielkość populacji dla zrealizowanych przedsięwzięć budowlanych (budynków zamieszkania zbiorowego, hoteli – BZ; budynków użyteczności publicznej – BP; budynki przemysłowe i magazynowe – BPM), która w badanych latach wyniosła 140 000. Aby uzyskać wyniki badań dla całej populacji, przy założonym 5% błędzie pomiarowym i poziomie ufności wynoszącym  $\alpha = 0,95$ , niezbędna liczba przedsięwzięć budowlanych powinna wynieść 383. Z uwagi na długotrwały proces gromadzenia danych do bazy wiedzy nie było możliwe zgromadzenie tak dużej liczby przedsięwzięć budowlanych i jestem świadomy, że uzyskane wyniki badań mogą być obarczone błędem.

Podsumowując, przeprowadziłem badania na celowej, reprezentatywnej typologicznie próbie badawczej wybranych przedsięwzięć budowlanych o akceptowalnym dla głównego użytkownika, tj. banków finansujących przedsięwzięcia budowlane, poziomie ufności i błędem maksymalnym.

#### 4.4.5.3 Wielkość próby badawczej

Zgromadzenie danych do badań wymagało ode mnie bezpośrednich, rzetelnych i zestandaryzowanych pomiarów prowadzonych w różnych lokalizacjach realizacji inwestycji. Na rysunku 4 przedstawiłem lokalizację zgromadzonych w bazie wiedzy przedsięwzięć budowlanych.



Rysunek 4. Lokalizacja analizowanych przedsięwzięć budowlanych

Zgromadzona baza wiedzy z lat **2006 – 2023** zawiera dane dotyczące **45** przedsięwzięć budowlanych, tj. **612** raportów o łącznej wartości ponad **1 300 000 000 PLN**. Zestawienie liczby analizowanych przedsięwzięć budowlanych i pozyskanych raportów przedstawiłem w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie liczby analizowanych przedsięwzięć budowlanych i opracowanych raportów

Kategoria	Grupa/Sektor budownictwa	Liczba przedsięwzięć budowlanych	Liczba raportów
A	Budynki zbiorowego zamieszkania	14	218
B	Budynki biurowe	4	69
C	Budynki hoteli	9	110
D	Budynki handlowo-usługowe	8	113
E	Centra logistyczne	6	37
F	Ośrodki zdrowia	1	12
G	Zakłady produkcyjne	1	6
H	Budynki lotnisk	1	36
I	Hub transportowy	1	11
		<b>45</b>	<b>612</b>

W tabeli 4 przedstawiłem uszczegółowioną bazę wiedzy z podziałem na analizowane sektory budowlane oraz typ opracowanego raportu (RW – Raport Wstępny, RM – Raport Miesięczny, RK – Raport Końcowy).

Tabela 4 Zestawienie liczby pomiarów kosztu w raportach BIN

Kat.	Grupa/Sektor budownictwa	Liczba przedsięwzięć budowlanych	Okres 2006 - 2017			Okres 2017 - 2023			Łącznie		
			RW	RM	RK	RW	RM	RK	RW	RM	RK
A	Budynki zbiorowego zamieszkania	14	9	123	4	5	74	3	14	197	7
B	Budynki biurowe	4	2	33	-	2	31	1	4	64	1
C	Budynki hoteli	9	5	36	5	4	57	3	9	93	8
D	Budynki handlowo-usługowe	8	8	97	8	-	-	-	8	97	8
E	Centra logistyczne	6	-	-	-	6	29	2	6	29	2
F	Ośrodki zdrowia	1	1	10	1	-	-	-	1	10	1
G	Zakłady produkcyjne	1	1	4	1	-	-	-	1	4	1
H	Budynki lotnisk	1	1	35	-	-	-	-	1	35	-
I	Hub transportowy	1	-	-	-	1	9	1	1	9	1
<b>Razem liczba raportów RW - RM - RK</b>			<b>27</b>	<b>338</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>200</b>	<b>10</b>	<b>45</b>	<b>538</b>	<b>29</b>
<b>OGÓLEM LICZBA RAPORTÓW</b>			<b>384</b>			<b>228</b>			<b>612</b>		

Badania trendu przebiegu kosztu w przedsięwzięciu budowlanym są prowadzone w stałym cyklu, są długotrwałe i nie da się ich ani przyśpieszyć, ani powtórzyć. Tym samym stanowią wartość samą w sobie o oryginalnym, autorskim charakterze (nie są to badania sondażowe/ankietowe). Każdorazowo na każdej budowie, jako Bankowy Inspektor Nadzoru, dokonywałem pomiaru rzeczywistego (procentowego) zaawansowania wykonanych prac, tj. przerobu każdej z grup robót budowlanych (m.in. prace ziemne, fundamenty, posadzka na gruncie, konstrukcja żelbetowa, konstrukcja stalowa, dach, elewacja, roboty wykończeniowe, zagospodarowanie terenu, itp.) wykonanych w danym okresie rozliczeniowym, zgodnie z opracowanym przez wykonawcę harmonogramem rzeczowo-finansowym oraz zestawieniem wykonanych robót. Przykładową strukturę protokołu zaawansowania prac dla jednego z analizowanego przedsięwzięcia budowlanego przedstawiłem w tabeli 5.

Tabela 5. Przykładowa struktura protokołu zaawansowania prac

Nr	Nazwa rodzajów robót	Wartość elementów	Wartość bieżącego protokołu	Wartość wg poprzednich protokołów	Wartość narastająco	Wartość pozostała do rozliczenia
1.	Fundamenty	100 000,00	0,00	100 000,00	100 000,00	0,00
3.	Konstrukcja żelbetowa	1 250 000,00	0,00	1 250 000,00	1 250 000,00	0,00
4.	Konstrukcja stalowa	250 000,00	0,00	250 000,00	250 000,00	0,00
5.	Dach	300 000,00	50 000,00	250 000,00	300 000,00	0,00
6.	Elewacja	1 000 000,00	100 000,00	900 000,00	1 000 000,00	0,00
7.	Roboty wykończeniowe	2 000 000,00	200 000,00	1 100 000,00	1 300 000,00	700 000,00
8.	Instalacje elektryczne i teletechniczne	750 000,00	150 000,00	450 000,00	600 000,00	100 000,00
9.	Instalacje sanitarne	1 750 000,00	200 000,00	950 000,00	1 150 000,00	600 000,00
10.	Sieci	1 000 000,00	100 000,00	800 000,00	900 000,00	100 000,00
11.	Zagospodarowanie terenu i prace ziemne	2 500 000,00	200 000,00	1 800 000,00	2 000 000,00	500 000,00
12.	Koszt ogólny	700 000,00	50 000,00	500 000,00	550 000,00	150 000,00
Razem		11 600 000,00	1 050 000,00	8 350 000,00	9 400 000,00	2 150 000,00

Pomiarów dokonywałem na podstawie protokołów odbioru wykonanych robót (protokołów zaawansowania prac), które stanowią potwierdzenie ilościowego wykonania robót, dokonywane na potrzeby comiesięcznych rozliczeń wynagrodzenia między inwestorem a wykonawcą robót. Oznacza to, że pod jedną wartością kosztu, charakteryzującą jeden pomiar dla pojedynczego przedsięwzięcia budowlanego, ukrytych jest od kilkudziesięciu do kilkuset pomiarów zaawansowania prac dla poszczególnych rodzajów robót, co prowadzi do kilku tysięcy pomiarów w całej próbie badawczej.

Przykładowo, w latach 2021 – 2023 pełniłem obowiązki Bankowego Inspektora Nadzoru dla realizacji kompleksu transportowo-usługowego w Żarskiej Wsi. Przedmiotem przedsięwzięcia budowlanego była budowa stacji obsługi samochodów ciężarowych z zapleczem socjalno-biurowym, magazynem opon i części samochodowych, myjnią samochodów ciężarowych i lakiernią, budynkiem noclegowo-szkoleniowym dla kierowców, budynkiem biurowym, portiernią, parkingami i drogami wewnętrznymi oraz zagospodarowaniem terenu, infrastrukturą i zjazdami wraz z usunięciem kolizji z istniejącym uzbrojeniem terenu. Pomiary zaawansowania prac prowadziłem dla: budynku biurowego, budynku szkoleniowo-noclegowego, budynku magazynowo - warsztatowego, wiat, a także sieci, zagospodarowania terenu, prac ziemnych. Dla omawianego przedsięwzięcia budowlanego dokonywałem średnio 50 pomiarów zaawansowania prac, dla każdego opracowanego raportu, tj. 1 raportu wstępnego, 9 raportów okresowych oraz 1 raportu końcowego, co łącznie daje ok. 550 pomiarów.

Na rysunku 5 przedstawiłem widok wybudowanego kompleksu transportowo – usługowego wykonanego za pomocą bezzałogowego statku powietrznego, a na rysunku 6 stronę tytułową opracowanego przeze mnie raportu końcowego.



Rysunek 5. Widok wybudowanego kompleksu transportowo – usługowego

BEP CM

HEGELMANN HOLDING S.A.  
A.S. REAL ESTATE sp. z o.o.

Realizacja kompleksu transportowo – usługowego  
Hegelmann Hub Poland, Żarska Wieś k. Zgorzelca

#### RAPORT KOŃCOWY

Nr projektu: PL21006  
Nr dokumentu: PL21006.RP.017  
Rewizja: 0

Autor	Imię i nazwisko	Podpis	Uprawnienia
Opracował	dr inż. Mariusz Szóstak	MARIUSZ PAWEŁ SZOSTAK	Inżynier nadzoru dotyczyjący MARIUSZ PAWEŁ SZOSTAK Data: 2023.10.27 09:08:42 (UTC)

Rysunek 6. Strona tytułowa raportu końcowego

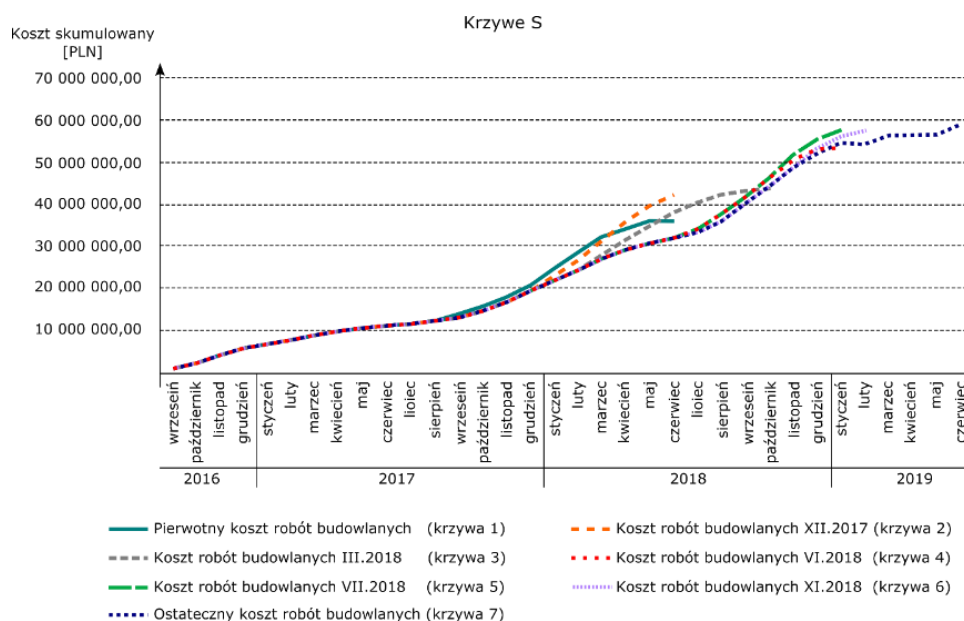


#### 4.4.6 Omówienie osiągnięć naukowych zaprezentowanych w cyklu publikacji

Cykl powiązanych tematycznie artykułów rozpoczyna artykuł [A1] opublikowany w czasopiśmie *Applied Science*, w sekcji *Civil Engineering*, w wydaniu specjalnym *The Latest Scientific Problems Related to the Implementation and Diagnostics of Construction Objects* w 2020 roku. W tym artykule dokonałem krytycznego przeglądu literatury i analizy stosowanych metod monitorowania przebiegu przedsięwzięć budowlanych, w tym krzywej skumulowanego koszt (Metoda Krzywej „S”) oraz Metody Wartości Wypracowanej. Celem artykułu była analiza przebiegu przykładowego przedsięwzięcia budowlanego w zakresie porównania planowanego kosztu planowanej pracy z rzeczywistym kosztem wykonanej pracy. Drugim celem artykułu była identyfikacja przyczyn prowadzących do niedotrzymania zaplanowanych terminów i budżetu realizacji inwestycji za pomocą reprezentatywnego studium przypadku.

W ramach świadczenia usług Bankowego Inspektora Nadzoru dla analizowanego budynku hotelowego opracowałem oraz przeanalizowałem 34 comiesięcznych protokołów zaawansowania robót budowlanych z okresu trzech lat, tj. 2017-2019, tj. około 1 700 pomiarów. Na ich podstawie sporządziłem wykresy oraz tabele planowanego i rzeczywistego skumulowanego kosztu zrealizowanego przedsięwzięcia budowlanego, których wnikliwa analiza umożliwiła mi wyciągnięcie wniosków z badań. W artykule przedstawiłem również wstępną metodykę prowadzenia badań i pomiarów.

Na rysunku 7 przedstawiłem planowany i rzeczywisty koszt skumulowany dla analizowanego obiektu budowlanego, na podstawie którego zauważyłem, że w wyniku nieprawidłowego zarządzania przedsięwzięciem budowlanym rzeczywisty koszt przekroczył planowaną wartość o ponad 50%, co nie jest rzadkością w polskim procesie inwestycyjnym w dzisiejszych czasach.



Rysunek 7. Planowany i rzeczywisty skumulowany koszt dla analizowanego budynku hotelowego [A1]



Na podstawie przeprowadzonej analizy studium przypadku potwierdziłem przyczyny, które prowadzą do niedotrzymania zaplanowanego terminu i kosztu realizacji, a mianowicie:

- brak prawidłowego przygotowania przedsięwzięcia budowlanego w fazie planowania inwestycji (w analizowanym przypadku inwestor zaplanował koszt realizacji przedsięwzięcia budowlanego na podstawie aktualnych cen na rok 2016 i nie uwzględnił wzrostu cen w kolejnych okresach realizacji oraz zmienności pieniądza w czasie wyznaczanego technikami dyskonta),
- brak doświadczenia inwestora w realizacji podobnych przedsięwzięć budowlanych,
- nieprawidłowo przeprowadzona przez inwestora analiza zapotrzebowania rynku (inwestor pierwotnie przyjął niższy niż wymagany w tej lokalizacji standard obiektu),
- zmiana zakresu prac generalnego wykonawcy (zwiększenie zakresu prac spowodowało znaczący wzrost zatrudnienia na placu budowy, szczególnie specjalistycznych podwykonawców, a wydłużenie czasu realizacji spowodowało zwiększenie kosztu generalnego wykonawcy).

Dla analizowanego w artykule studium przypadku wskaźnik wydajności wykonania harmonogramu wyniósł 1.545 (co oznacza, że przedsięwzięcie wydłużyło się o 54,5% w stosunku do planowanego) oraz wskaźnik wydajności wykonania kosztu wyniósł 1,624 (co oznacza że inwestycja została zrealizowana o 62,4% drożej niż planowano), co wskazało na rosnący trend wskaźnika wydajności wykonania harmonogramu oraz wykonania kosztu.

Na tej podstawie potwierdziłem, że prawidłowe zaplanowanie procesu inwestycyjnego jest czynnością bardzo ważną, mającą bezpośredni wpływ na osiągnięcie zamierzonego rezultatu w realizacji przedsięwzięcia budowlanego, czyli utrzymania zakładanego budżetu i terminu, przy nieziennej jakości realizowanych prac budowlanych, a także ma istotny wpływ na płynność finansową przedsiębiorstw budowlanych.

W pracy podniosłem również, ważną moim zdaniem, potrzebę opracowania prostych, szybkich i skutecznych metod umożliwiających prawidłowe zaplanowanie i kontrolowanie przebiegu krzywej skumulowanego kosztu. Dlatego uzasadnione było prowadzenie dalszych analiz związanych z badaniem przebiegu krzywej kosztu zmierzających do opracowania metody prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsięwzięciach budowlanych.

Artykuł [A1] został dostrzeżony w środowisku badaczy zajmujących się podobną tematyką i do chwili obecnej był cytowany przez innych badaczy 11 razy w bazie Web of Science, 20 razy w bazie Scopus i 29 w bazie Google Scholar (stan na dzień 18.03.2024).

**Moim osiągnięciem naukowym, wynikającym z artykułu [A1], jest wykazanie, wraz z uzasadnieniem, że prawidłowe zaplanowanie procesu inwestycyjnego ma bezpośredni wpływ na rzeczywisty przebieg kosztu w realizacji przedsięwzięcia budowlanego.**

Z moich dotychczasowych doświadczeń, zdobytych podczas prowadzenia badań nad przebiegiem planowanych, rzeczywistych i wypracowanych krzywych kosztu różnych przedsięwzięć budowlanych wynika, że aby uzyskane wyniki były wiarygodne, a podjęte na ich podstawie analizy oraz decyzje były słuszne, badania powinny być kompleksowe oraz metodyczne. Uznałem zatem za konieczne opracowanie metodyki prowadzenia

kompleksowych badań, którą opublikowałem w czasopiśmie *Sustainability*, w artykule [A2] w wydaniu specjalnym *Decision Support Systems and Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Development*, w 2020 roku. Zaproponowana metodyka badań była weryfikowana, rozbudowywana i udoskonalana w kolejnych artykułach wchodzących w skład cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Ostateczna forma i treść zaproponowanej metodyki została opublikowana w artykule [A7], który omówię w dalszej części autoreferatu. Opracowując metodykę badań bazowałem przede wszystkim na własnych doświadczeniach oraz na wiedzy zawartej w publikacji [A1].

W artykule [A2] zaproponowałem autorską i oryginalną metodykę badań przebiegu krzywej skumulowanego kosztu w przedsięwzięciach budowlanych, wykorzystującą znany w literaturze i w praktycznym podejściu sposób kształtowania krzywej kosztu z elementami Metody Wartości Wypracowanej.

Opracowana metodyka badań składała się z 5 etapów, a mianowicie:

- etap 1: Pozyskanie danych o zrealizowanych przedsięwzięciach budowlanych.
- etap 2: Opracowanie bazy wiedzy.
- etap 3: Przetworzenie zgromadzonych danych.
- etap 4: Opracowanie obszaru krzywej kosztu „S” poprawnego planowania.
- etap 5: Przetestowanie dokładności dopasowania krzywej kosztu „S”.

Zaproponowana metodyka badań umożliwiła mi badanie kształtu i przebiegu oraz monitorowanie krzywej kosztu podczas realizacji przedsięwzięć inwestycyjnych, poprzez cykliczne obliczanie odchyleń kosztu i harmonogramu, a także wskaźników wydajności, prognoz kosztu i czasu trwania przedsięwzięcia budowlanego.

Dane do opracowania metodyki badań były wynikiem własnych doświadczeń i pracy zawodowej, polegającej na świadczeniu usług Bankowego Inspektora Nadzoru w imieniu banków udzielających kredyty inwestycyjne dla zamówień niepublicznych. Etap 1 dotyczył pozyskania danych o przebiegu różnorodnych przedsięwzięć budowlanych w postaci raportów Bankowego Inspektora Nadzoru. Informacje dotyczące danych źródłowych omówiłem w pkt. 4.4.5 Próba badawcza.

W etapie 2, w wyniku przeprowadzonych analiz raportów, opracowałem bazę wiedzy, tj. zbiorcze zestawienie danych w programie *Microsoft Excel*, charakteryzujące poszczególne przedsięwzięcia budowlane. Dane dotyczące pojedynczego przedsięwzięcia przedstawiłem za pomocą tabeli dwuwymiarowej. Każdy kolejny wiersz tablicy przedstawia dane dotyczące kolejnych raportowanych okresów. Każdy zestaw danych zawierał następujące wartości:

- planowany koszt planowanej pracy,
- wartość skumulowana planowanego kosztu planowanej pracy,
- planowane procentowe zaawansowanie planowanych prac,
- rzeczywisty koszt wykonanej,
- wartość skumulowana rzeczywistego kosztu wykonanej pracy,
- rzeczywiste procentowe zaawansowanie wykonanych prac.

Zgromadzone dane w bazie wiedzy charakteryzują pojedyncze przedsięwzięcia budowlane, natomiast każde przedsięwzięcie charakteryzuje się innym czasem trwania oraz kosztem realizacji. Dlatego, w celu przeprowadzenia analizy porównawczej, dane poddałem normalizacji. Oznacza to, że dane zostały przetworzone i ujednolicone (etap 3).

W kolejnym etapie badań, wykorzystując standaryzowane dane, prowadziłem analizy porównawcze i opracowałem obszar krzywej prawidłowego planowania kosztu dla poszczególnych analizowanych grup/sektorów budownictwa (etap 4).

W etapie 5 przetestowałem przetworzone dane w celu określenia najlepszego dopasowania krzywej kosztu skumulowanego do funkcji trendu. W celu opisanie przebiegu krzywej określiłem funkcję trendu, a jako miarę dopasowania funkcji trendu do wartości rzeczywistych zastosowałem współczynnik korelacji  $R$  i współczynnik determinacji  $R^2$ .

Współczynnik determinacji  $R^2$  jest miarą stopnia, w jakim model pasuje do próby i przyjmuje wartości z przedziału od 0 do 1. Dopasowanie modelu jest tym lepsze im wartość  $R^2$  jest bliższa jedności. Wyzaczyłem przedziały wartości współczynnika korelacji, które określają słabą, średnią, silną i bardzo silną korelację. Do określenia analitycznej postaci trendu wykorzystałem możliwości obliczeniowe oprogramowania *Microsoft Excel*, tj. określenie funkcji trendu, współczynnika determinacji oraz współczynnika korelacji.

Przy opracowaniu obszaru krzywej kosztu (planowanego i rzeczywistego kosztu) otrzymanego na podstawie danych historycznych, służących do planowania nowych przedsięwzięć, uwzględniłem cechę podobieństwa analizowanych danych, tzn. czy reprezentują one zbliżone przedsięwzięcie budowlane, np. podobny rodzaj i typ obiektu budowlanego, podobne warunki otoczenia, np. porównywanie krzywej kosztu między różnymi przedsięwzięciami budowlanymi możliwe jest tylko wtedy, jeśli dotyczą one podobnych realizacji. Dlatego w prowadzonych analizach zastosowałem grupowanie przedsięwzięć budowlanych, w oparciu o ich cechy charakterystyczne (jak np. typ obiektu). W związku z tym, w zaproponowanej metodyce badań, zastosowałem klasyfikację realizowanych przedsięwzięć budowlanych w grupy/sektory budownictwa, w zależności od typu, np. grupa A – budynki zbiorowego zamieszkania, grupa B – budynki biurowe. Dla każdej grupy/sektora budownictwa otrzymałem charakterystyczny zakres obszaru krzywej kosztu, pozwalający na prawidłowe oszacowanie przepływu kosztu w czasie.

Poza opracowaniem autorskiej metodyki badań w artykule [A2] podjąłem próbę porównania zgodności planowanego i rzeczywistego przebiegu krzywej kosztu dla przedsięwzięć budowlanych należących do jednorodnej grupy badawczej budynków hotelowych. Na podstawie przeprowadzonych badań własnych określiłem obszar poprawnego planowania kosztu dla analizowanej grupy budynków.

Znając całkowity koszt i czas trwania planowanego przedsięwzięcia budowlanego, określony na podstawie dokumentacji projektowej, kosztorysów, własnej bazy danych o planowanych i wykonanych terminach i budżetach analogicznych inwestycji, wyznaczyłem wielomiany 6-go stopnia planowanego i rzeczywistego kosztu robót budowlanych. Zastosowane przeze mnie podejście umożliwia predykcję najlepszego dopasowania krzywej kosztu i określenie planowanych miesięcznych przerobów rzeczowo-finansowych.

Uzyskane wyniki pozwoliły mi sformułować nowe wnioski dotyczące prawidłowego planowania przedsięwzięć budowlanych, w szczególności kosztu i czasu dla budynków hotelowych, a mianowicie:

- możliwe jest wyznaczenie linii trendu za pomocą wielomianu 6-go stopnia, który na poziomie ponad 95% opisuje przebieg krzywej skumulowanego kosztu,
- planowany koszt wynikający z harmonogramu rzeczowo-finansowego znacznie odbiega od rzeczywistego kosztu ponoszonego w trakcie realizacji. Wartość średnia

wskaźnika wydajności wykonania kosztu wyniosła  $1,11 \pm 8$ , co oznacza, że rzeczywisty koszt realizacji od planowanego jest wyższy o 2-19%. Otrzymane wartości możliwej rozbieżności kosztu, mogą stanowić pewne wskazówki dla potencjalnych inwestorów podczas planowania inwestycji,

- w tradycyjnych metodach planowania kosztu zakłada się, że realizacja będzie przebiegać dużo szybciej niż w rzeczywistości. Wg krzywej kosztu planowane zaawansowanie rzeczowe i finansowe jest dużo większe w pierwszym etapie realizacji w porównaniu do rzeczywistości (krzywa planowanego kosztu planowanej pracy znajduje się powyżej rzeczywistej krzywej wykonanej pracy). Wg otrzymanych wielomianów 6-go stopnia, dla połowy planowanego czasu trwania prac, planowane zaawansowanie rzeczowo-finansowe wynosi ok. 24%, natomiast rzeczywiste zaawansowanie wynosi ok. 22%,
- porównanie otrzymanego obszaru krzywej kosztu dla planowanego i rzeczywistego kosztu wykazuje, że w drugim etapie realizacji prac koszt generowany jest w duży szybszym tempie niż zaplanowano. Wg otrzymanych wielomianów 6-go stopnia, dla połowy planowanego czasu trwania prac, planowane zaawansowanie rzeczowo-finansowe wynosi ok. 24%, natomiast rzeczywiste zaawansowanie, przy rzeczywistym czasie trwania, wynosi ok. 28%,
- rzeczywisty koszt po osiągnięciu 50% zaawansowania rzeczowo-finansowego aż do osiągnięcia 80%, generowany jest w duży szybszym tempie niż wynika to z inwestorskiego harmonogramu rzeczowo-finansowego, o czym świadczy dużo większe nachylenie rzeczywistej krzywej skumulowanego kosztu do osi czasu.

W artykule [A2] przedstawiłem wyniki analiz tylko dla budynków hotelowych.

W kolejnych artykułach kontynuowałem badania związane z badaniem przebiegu krzywej kosztu dla różnych obiektów budowlanych, np. budynków zbiorowego zamieszkania, obiektów handlowo-usługowych.

Artykuł [A2] był cytowany przez innych badaczy 7 razy w bazie Web of Science, 16 razy w bazie Scopus i 26 w bazie Google Scholar (stan na dzień 18.03.2024). **Moim osiągnięciem naukowym, wynikającym z artykułu [A2], jest:**

- **opracowanie, na podstawie zgromadzonych raportów Bankowego Inspektora Nadzoru, reprezentatywnego zbioru danych do prowadzenia badań nad opracowaniem autorskiej metody prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsiębiorstwach budowlanych,**
- **opracowanie metodyki badań przebiegu krzywej kosztu skumulowanego w różnorodnych przedsiębiorstwach budowlanych,**
- **udowodnienie, że dla budynków hotelowych planowane zaawansowanie rzeczowe i finansowe jest dużo większe w pierwszym etapie realizacji w porównaniu do rzeczywistości oraz, że w drugim etapie realizacji prac koszt generowany jest w duży szybszym tempie niż planowany.**

Bazując na opracowanej autorskiej metodyce badań, w kolejnych artykułach przedstawiałem wyniki dla analizowanych wybranych przedsiębiorstw budowlanych. W pierwszym podejściu badaniom poddałem zgromadzone w bazie wiedzy dane dla wszystkich typologicznych grup/sektorów budownictwa. Wyniki tych badań przedstawiłem w artykułach: [A3], który opublikowałem w czasopiśmie *Civil Engineering and Architecture* w 2021 roku oraz [A4], który opublikowałem w czasopiśmie

*International Journal of Construction Management* w 2021 roku. Wyniki badań opublikowane w artykułach [A3] i [A4] stanowią kontynuację podjętych wcześniejszych analiz, których wyniki opublikowałem w artykułach [A1] oraz [A2]. W badaniach korzystałem z opracowanej przeze mnie metodyki badań opublikowanej w artykule [A2].

W ramach badań dotyczących realizacji wybranych przedsięwzięć budowlanych przeprowadziłem analizę i ocenę porównawczą planowanego, poniesionego i faktycznie wykonanego harmonogramu i kosztu. W prowadzonych badaniach poszukiwałem podstawowych przyczyn odchyień kosztu od wartości wypracowanych, a także jako rozszerzenie Metody Wartości Wypracowanej, starałem się uwzględnić wpływ nieplanowanych odchyień czasowych i kosztowych na płynność finansową przedsiębiorstw budowlanych.

Dla każdego przedsięwzięcia budowlanego opracowałem zbiór danych, w formie arkusza kalkulacyjnego *Microsoft Excel*, który charakteryzował trzy sytuacje (scenariusze):

- dotrzymanie zaplanowanego budżetu przy zachowaniu zaplanowanego czasu trwania, co odpowiada krzywej planowanego kosztu planowanej pracy,
- dotrzymanie zaplanowanego budżetu, gdy czas trwania został przekroczony, co odpowiada krzywej planowanego kosztu wykonanej pracy,
- przekroczenie zaplanowanego budżetu, gdy czas trwania został przekroczony, co odpowiada krzywej rzeczywistego kosztu wykonanej pracy (zaplanowany koszt i czas trwania zostaje przekroczony jednocześnie).

Dla opracowanych danych, charakteryzujących analizowane przedsięwzięcia budowlane, przeprowadziłem pełne modelowanie przebiegu planowanych, rzeczywistych i wypracowanych krzywych kosztu. W wyniku prowadzonych analiz opracowałem wykresy planowanych/kosztorysowych, zafakturowanych/poniesionych i rzeczywistych/wypracowanych wartości kosztu dla badanych typologicznych grup/sektorów budownictwa. Wykresy opracowałem w grupach jednorodnych oraz w grupie zróżnicowanej, która składała się ze wszystkich analizowanych przedsięwzięć budowlanych. Przeprowadziłem ocenę rzeczywistie zrealizowanego kosztu dla różnorodnych przedsięwzięć budowlanych.

Przeprowadzone przeze mnie analizy wykazały, że szacowany koszt, jak i czas trwania robót, są bardzo wrażliwe na dane, które wykorzystuje się w Metodzie Wartości Wypracowanej. Zauważyłem, że w celu uzyskania jak najbardziej wiarygodnego i rzeczywistego oszacowania kosztu i czasu trwania inwestycji, analizy powinny być prowadzone zgodnie z rzeczywistym postępowaniem przedsięwzięcia budowlanego.

Przeprowadzone badania ujawniły, że istnieje pewien poziom podobieństwa krzywej kosztu skumulowanego dla analizowanych różnorodnych grup/sektorów budownictwa, natomiast nie ma podobieństwa krzywych kosztu dla całego analizowanego zbioru przedsięwzięć budowlanych. W ramach prowadzonych badań wykazałem, że:

- analiza kształtu krzywych kosztu w ramach jednorodnej grupy/sektora budowlanego, wskazuje, że przebiegają one podobnie, jednak porównując je pomiędzy różnymi grupami/sektorami budownictwa widoczna jest już duża różnorodność,
- wyznaczone krzywe kosztu dla budynków zbiorowego zamieszkania cechują się dążeniem do liniowości,
- wykresy kosztu skumulowanego dla budynków biurowych wielokrotnie załamują się oraz ich nachylenie względem odciętej jest małe,

- ze względu na duże zróżnicowanie budynków handlowo – usługowych krzywe kosztu tej grupy charakteryzują się dużą różnorodnością,
- wykresy krzywych kosztu centrów logistycznych od początku układają się bardziej stromo, zachowując literaturowy kształt litery S.

Wyniki prowadzonych badań przedyskutowałem na międzynarodowej konferencji naukowej: 4. International Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering (ECCE 2020), która odbyła się w dniach 20-22.04.2020 w Opolu [K1]. W ramach tej konferencji opublikowałem referat w materiałach konferencyjnych [R1], który nie został przeze mnie włączony do cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, z uwagi na fakt, że książka wydana przez wydawnictwo *Springer* nie znajduje się w wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych MEiN.

**Moim osiągnięciem naukowym, wynikającym z artykułów [A3] i [A4], jest wykazanie, że kształt krzywej skumulowanego kosztu w ramach jednorodnej grupy/sektora budownictwa przebiega podobnie, jednak porównując go z różnymi grupami/sektorami budownictwa widoczna jest duża różnorodność. Oznacza to, że istnieje podobieństwo krzywej skumulowanego kosztu dla jednorodnych grup/sektorów budownictwa, natomiast nie ma podobieństwa krzywej kosztu dla całego analizowanego zbioru przedsięwzięć budowlanych.**

Przeprowadzone powyżej opisane analizy i uzyskane rezultaty badań ujawniły, że nie ma wspólnego i jednego podejścia do prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji dla wszystkich typów przedsięwzięć budowlanych, dlatego kolejne badania zawężyłem/ograniczyłem do analiz wybranych, jednorodnych grup / sektorów budownictwa. Wyboru grup/sektorów budownictwa, które zostały poddane dalszym badaniom, dokonałem na podstawie zgromadzonych w bazie wiedzy liczby pomiarów, tj. liczby raportów Bankowego Inspektora Nadzoru. Uwzględniając podstawowe założenia, jakie powinna spełniać grupa badawcza, aby możliwe było prowadzenie badań statystycznych i wnioskuje, zdecydowałem się prowadzić badania dla trzech wybranych grup obiektów budowlanych, a mianowicie: budynki zbiorowego zamieszkania, budynki hotelowe, budynki handlowo-usługowe, dla których zbiorów danych jest wystarczająco reprezentatywny i wystarczająco liczny do analizy statystycznej (szczegółowe informacje dotyczące próby badawczej i jej doboru do dalszych badań omówiłem w pkt. 4.4.5 Próba badawcza).

W pierwszej kolejności postanowiłem rozszerzyć przeprowadzone dotychczasowe analizy dotyczące zbioru przedsięwzięć budowlanych charakteryzujących budynki zbiorowego zamieszkania (grupa A). Zdecydowałem się na tę grupę obiektów, ponieważ zawiera ona największą liczbę zgromadzonych danych o przedsięwzięciach budowlanych. Ponadto budynki mieszkalne, w tym zbiorowego zamieszkania, są najpopularniejszą formą architektury od najdawniejszych czasów. W ostatnich latach duża liczba inwestycji mieszkaniowych przyniosła rekordowe wartości produkcji budowlano-montażowej, co podkreśla, jak ważne jest prawidłowe zaplanowanie kosztu inwestycji oraz skuteczne monitorowanie realizacji i ponoszonych nakładów finansowych w tym sektorze budownictwa. Wyniki przeprowadzonych analiz opublikowałem w artykule [A5] w czasopiśmie *Archives of Civil Engineering*, w 2021 r.

Celem tych badań było określenie kształtu i przebiegu krzywej kosztu dla przedsięwzięć budowlanych związanych z realizacją budynków zbiorowego zamieszkania.

Na podstawie analizy przeprowadzonych badań własnych w jednorodnej grupie badawczej podjąłem próbę prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji, najlepszego dopasowania krzywej kosztu oraz wyznaczenia obszaru poprawnego planowania kosztu.

Korzystając z wyznaczonych niemianowanych wartości dla każdego analizowanego przedsięwzięcia budowlanego opracowałem wykresy krzywych kosztu w zakresie: planowanego kosztu planowanej pracy oraz rzeczywistego kosztu rzeczywiście wykonanej pracy. Następnie, korzystając w wyznaczonych krzywych kosztu wyznaczyłem obszar, w których znalazły się analizowane przedsięwzięcia budowlane. Na podstawie określonego obszaru wyznaczyłem przebieg krzywej o najlepszym dopasowaniu krzywej do funkcji. Aby opisać przebieg krzywej kosztu wykorzystałem regresję wielomianową (wielomian 6-go stopnia) oraz funkcję trendu. Wyznaczony obszar oraz krzywa najlepszego dopasowania pozwoliła mi na określenie obszaru prawidłowego planowania przedsięwzięć budowlanych charakteryzujących budynki zbiorowego zamieszkania (grupa A).

Znając planowany koszt i czas trwania przedsięwzięcia budowlanego i korzystając z zaproponowanej krzywej najlepszego dopasowania możliwe jest określenie planowanych miesięcznych przerobów rzeczowo-finansowych, a tym samym zaplanowanie utylizacji kosztu przedsięwzięcia w czasie.

Analiza otrzymanych przestrzeni krzywych skumulowanego kosztu wykazała, że:

- wyznaczone przebiegi krzywych o najlepszym dopasowaniu krzywej do funkcji z wysoką dokładnością wpisują się w wielomian 6-go stopnia. Wartości współczynników determinacji  $R^2$  i korelacji  $R$  dla analizowanych danych są bliskie jedności,
- planowany koszt wynikający z bazowego harmonogramu rzeczowo-finansowego nieznacznie odbiega od rzeczywistego kosztu poniesionego w trakcie realizacji (2–4%),
- planowany czas realizacji wynikający z bazowego harmonogramu rzeczowo-finansowego znacznie odbiega od rzeczywistego czasu trwania inwestycji (14%–47%),
- wg krzywej kosztu, planowane zaawansowanie rzeczowe i finansowe jest dużo większe w pierwszym etapie realizacji w porównaniu do rzeczywistości, natomiast w drugim etapie realizacji prac koszt generowany jest w duży szybszym tempie niż planowany.

**Moim osiągnięciem naukowym, wynikającym z artykułu [A5], jest:**

- **zaproponowanie stosowania wielomianu 6-go stopnia do opisu krzywej najlepszego dopasowania,**
- **zbadanie dopasowania krzywej skumulowanego kosztu w wielomian 6-go stopnia za pomocą współczynnika determinacji  $R^2$  oraz współczynnika korelacji  $R$ ,**
- **wyznaczenie obszaru krzywej skumulowanego kosztu dla budynków zbiorowego zamieszkania, który wskazuje zakres spodziewanego kosztu i wartości odchyłań.**

Wyniki moich badań przedyskutowałem na międzynarodowej konferencji naukowej: 5. International Scientific Conference Environmental Challenges in Civil Engineering (ECCE 2022), która odbyła się w dniach 26-28.09.2022 w Opolu [K2]. W ramach tej konferencji opublikowałem referat w materiałach konferencyjnych [R2],



który nie został przeze mnie włączony do cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych, z uwagi na fakt, że książka wydana przez wydawnictwo *Springer* nie znajduje się w wykazie czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych MEiN. Rezultaty moich badań zaprezentowałem i przedyskutowałem również na 53. Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych (IPB 2022), która odbyła się w dniach 28-30.09.2022 w Kołobrzegu [K3].

W artykule [A5] do opisu krzywej najlepszego dopasowania zastosowałem wielomian 6-go stopnia. Wykorzystanie trendu wielomianowego 6-go stopnia pozwoliło mi na uzyskanie wysokiej wartości współczynnika korelacji (bliskiego jedności, świadczącym o występowaniu bardzo silnej zależności korelacyjnej i bardzo dobrym opisanu badanego zjawiska) i niskiej wartości współczynnika zmienności (świadczącym o małej zmienności cechy i jednorodności badanej populacji) to jego praktyczne zastosowanie może być trudne i zbyt skomplikowane dla decydentów, np. inwestorów, wykonawców robót. Z praktycznego punktu widzenia decydenta stosowanie wielomianów wyższych rzędów (wyższych niż wielomian 4-go stopnia) może być trudne do zastosowania. Nie byłem zadowolony z uzyskanych rezultatów i wzbudziło to moją ciekawość naukową. W związku z tym podjąłem dalsze badania naukowe i poszukiwałem prostych modeli/formuł matematycznych, które umożliwią prawidłowe odwzorowanie przebiegu krzywej skumulowanego kosztu.

Przegląd proponowanych przez wcześniejszych badaczy formuł matematycznych opisujących kształt krzywej kosztowej, przedstawiony w rozdziale 4.4.3. autoreferatu oraz w artykule [A6] wykazał, że do ich opisu wykorzystywano najczęściej: wielomian 6-go stopnia (Hsieh i inni, 2004; Ostojic-Skomrlj i Radujkovic, 2012), wielomian 3-go stopnia (Peer, 1982; Miskawi, 1989; Chao i Chien, 2009), rzadziej wielomian 2-go stopnia i funkcję liniową (Boussabaine i Elhag, 1999).

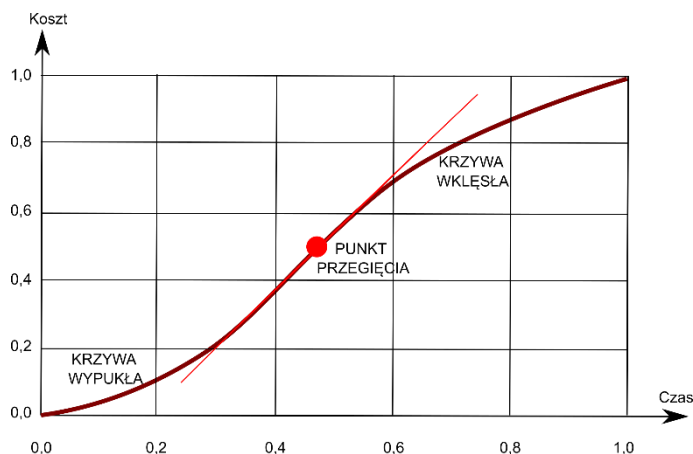
Zastosowanie wielomianu 1-go stopnia (funkcji liniowej) i 2-go stopnia (trójmianu kwadratowego) możliwe jest tylko przy założeniu, że przebieg procesu inwestycyjnego może zostać podzielony na minimum 3 okresy. Jak wynika z literatury przedmiotu wykres skumulowanego kosztu jest krzywą o zmiennych nachyleniu i z występującym charakterystycznym punktem przegięcia, tj. przejścia z funkcji wypukłej we wklęsłą, dlatego zastosowanie wykresu parabolicznego w pierwszym i trzecim okresie stanowi duże uogólnienie. Analizując proponowane przez innych badaczy empiryczne wykresy krzywych kosztowych trudno zgodzić się, że w drugim okresie wykres funkcji przyjmuje postać liniową. Ponadto prawidłowy, odzwierciedlający rzeczywistość, podział czasu trwania na okresy (np. trzy okresy) jest trudny do jednoznacznego, uniwersalnego określenia. Uwzględniając powyższe spostrzeżenia, przeprowadzoną kwerendę literatury przedmiotu oraz wyniki badań własnych przyjąłem, że optymalną formułą jest wielomian 3-go stopnia. Dlatego do opisu najlepszego dopasowania krzywej kosztu uznałem za zasadne zastosowanie wielomianu 3-go stopnia.

Celem artykułu [A6], który został opublikowany w czasopiśmie *Buildings*, w sekcji *Construction Management, and Computers & Digitization*, w wydaniu specjalnym *Costs and Cost Analysis in Construction Project Management*, w 2022 roku, była próba najlepszego dopasowania krzywej skumulowanego kosztu, za pomocą modeli/formuł matematycznych w wielomian 3-go stopnia i określenie obszaru krzywej kosztu dla 3 zróżnicowanych grup/sektorów budownictwa: budynki zbiorowego zamieszkania, budynki hotelowe, budynki handlowo-usługowe.



Analizie poddałem kształt krzywej skumulowanego kosztu, która jest płaska na początku i na końcu realizacji przedsięwzięcia budowlanego, co wynika z faktu, że przedsięwzięcie budowlane rozpoczyna się i kończy powoli. Na początku procesu budowlanego organizowane są np. zasoby ludzkie, zawierane są umowy z wykonawcami i/lub podwykonawcami planowanych robót budowlanych, wykonawcami pakietowymi, przygotowywane jest zagospodarowanie terenu budowy, a także prowadzone są proste prace przygotowawcze. Po pewnym czasie realizacja prac zaczyna przyspieszać, co ma bezpośrednie odzwierciedlenie w kształcie krzywej skumulowanego kosztu. Prace prowadzone są na kilku lub kilkunastu frontach roboczych przy wykorzystaniu różnych wyspecjalizowanych brygad roboczych. Wykonawcy robót zaczynają realizować coraz większą ilość prac budowlanych, które prowadzone są równocześnie na działkach i frontach roboczych. Równoległe, wzajemne realizowanie prac generuje dużo większy wzrost kosztu w porównaniu do początkowego i końcowego etapu realizacji.

Na podstawie analizy literatury przedmiotu oraz kształtu krzywej kosztu dla zgromadzonych w bazie wiedzy przedsięwzięć budowlanych podjąłem próbę najlepszego dopasowania krzywej kosztu za pomocą wielomianu 3-go stopnia. Krzywą kosztu, przypominającą kształt litery „S”, z matematycznego punktu widzenia mogłem opisać za pomocą dwóch wypukłości i jednego punktu przegięcia ( $x_0$ ), co przedstawiłem na rysunku 8.



Rysunek 8. Elementy charakteryzujące krzywą kosztu (wypukłości wraz z punktem przegięcia  $x_0$ ) [A6]

Krzywa kosztu kształtuje się następująco:

- w pierwszym okresie realizacji robót (faza pierwsza) krzywa kosztu jest wypukła – z geometrycznego punktu widzenia oznacza to, że wykres funkcji leży ponad wykresem stycznej dla każdego punktu z przedziału  $< 0, x_0$ ); łuk wykresu funkcji łączący dowolne dwa punkty  $(A, B)$  z przedziału  $< 0, x_0$ ) tego wykresu leży poniżej lub na cięciwie łączącej punkty  $(A, B)$ ,
- w trakcie wzmożonej realizacji robót budowlanych, zwiększającego się zaawansowania prac i upływu czasu zauważyć można, że w środkowej części krzywa kosztu jest stroma, tzn. nachylona pod dużym kątem w stosunku do osi czasu,

- krzywa kosztu, w pewnym momencie realizacji robót budowlanych, osiąga punkt przegięcia ( $x_0$ ), który informuje o momencie przejścia inwestycji do drugiej fazy realizacji, w której przyrost kosztu zaczyna zwalniać,
- w drugiej fazie realizacji robót krzywa kosztu jest wklęsła, tj. wypukła ku górze – z geometrycznego punktu widzenia oznacza to, że wykres funkcji leży pod wykresem stycznej dla każdego punktu z przedziału  $(x_0, 1 >$ ; łuk wykresu funkcji łączący dowolne dwa punkty  $(C, D)$  z przedziału  $(x_0, 1 >$  tego wykresu leży powyżej lub na cięciwie łączącej punkty  $(C, D)$ .

Przyjęcie takiego opisu przebiegu krzywej kosztu pozwoliło mi na zastosowanie wielomianu 3-go stopnia do predykcji najlepszego dopasowania krzywej za pomocą równania:

$$f(x) = y = a_1 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^1 + a_0,$$

gdzie:

- zmienne  $x, y$  oznaczają znormalizowany postęp kosztu i znormalizowany czas trwania przedsięwzięcia budowlanego,
- zmienne:  $a_1, a_2, a_3$  są parametrami, które należy wyznaczyć dla zgromadzonych w bazie wiedzy przedsięwzięć budowlanych w zależności od grupy obiektów budowlanych/sektorów budownictwa.

Aby określić zmienne ( $a_1, a_2, a_3$ ) przyjąłem następujące założenia:

- oś odciętych przyjmuje wartości od 0 do 1 (przedział obustronnie zamknięty):  $x \in <0, 1 >$ ,
- oś rzędnych przyjmuje wartości od 0 do 1 (przedział obustronnie zamknięty):  $y \in <0, 1 >$ ,
- krzywa kosztu ma początek w punkcie o współrzędnych  $(0, 0)$ , co oznacza, że wyraz wolny wynosi 0:  $a_0 = 0$ ,
- wielomian dla  $x = 1$  zawsze przyjmuje dla zakończonej inwestycji wartość 1 ( $y = 1$ ):  $f(1) = 1 = a_1 \cdot x^3 + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x$ , oznacza to, że:  $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ ,
- wielomian 3-tego stopnia ma co najwyżej 1 punkt przegięcia. Aby wyznaczyć punkt przegięcia spełniony musi być warunek konieczny, jakim jest zerowanie się drugiej pochodnej funkcji  $f''(x) = 0$ :

$$f'(x) = 3 \cdot a_1 \cdot x^2 + 2 \cdot a_2 \cdot x + a_3$$

$$f''(x) = 6 \cdot a_1 \cdot x + 2 \cdot a_2 = 0$$

- na podstawie powyższego warunku możliwe jest określenie punktu przegięcia krzywej:  $x_0 = \frac{-a_2}{3 \cdot a_1}$ ,
- wielomian (krzywą kosztu) można scharakteryzować za pomocą punktu przegięcia ( $x_0$ ) informującego o momencie przejścia realizacji inwestycji z „pierwszej” do „drugiej fazy”.

Na podstawie wielomianu 3-go stopnia i punktu przegięcia, dla każdego zbioru danych, tj. dla 3 grup/sektorów budownictwa, wyznaczyłem krzywe najlepszego dopasowania. Jako miarę dopasowania funkcji do wartości rzeczywistych zastosowałem zastosowany wcześniej współczynnik korelacji  $R$  i współczynnik determinacji  $R^2$ .

Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań wykazałem, że:

- możliwe jest zastosowanie wielomianu 3-go stopnia do opisu krzywej najlepszego dopasowania,

- dla rzeczywistych krzywych kosztu punkt przegięcia krzywej występuje wcześniej niż dla planowanych krzywych kosztu,
- mimo dłuższego w rzeczywistości czasu realizacji wcześniej następuje moment w trakcie trwania przedsięwzięcia budowlanego, w którym następuje zmiana przebiegu krzywej, z krzywej wypukłej we wklęsłą (od tego momentu następuje spowolnienie tempa prac),
- w pierwszej połowie trwania przedsięwzięcia budowlanego (w pierwszych dwóch kwartylach, tj. kwantylach rzędu 1/4 i 2/4) przebieg rzeczywistego kosztu jest w 90% analizowanych przedsięwzięciach budowlanych zbliżony z zaplanowanym budżetem,
- największe odchylenia uwidaczniają się w drugiej połowie trwania przedsięwzięcia budowlanego (w trzecim i czwartym kwartylu, tj. kwantylach rzędu 3/4 i 4/4), dla których rzeczywisty koszt jest poniżej budżetu przedsięwzięcia budowlanego.

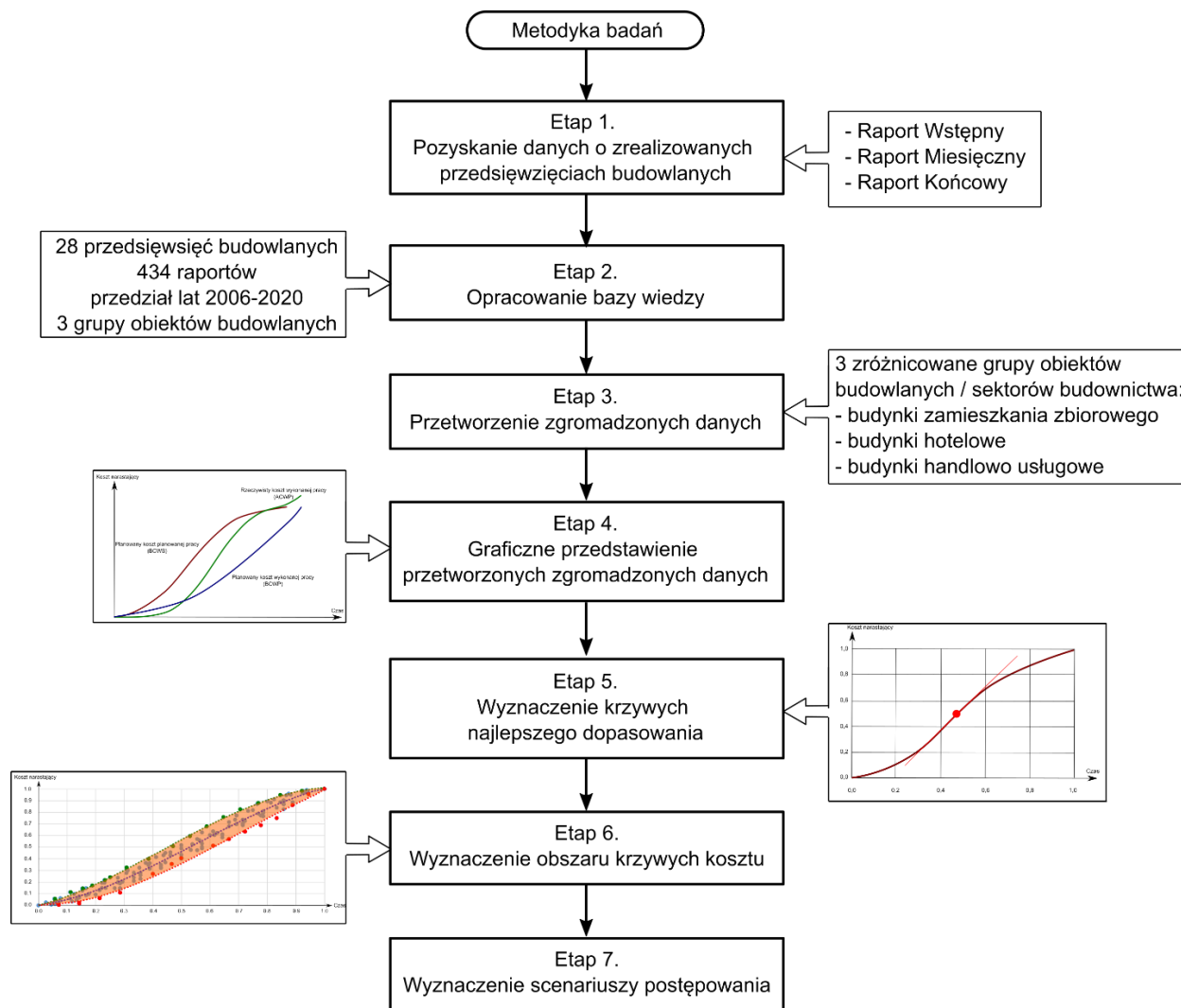
Wyniki prowadzonych badań zaprezentowałem i przedyskutowałem na 7. Konferencji Naukowo-Technicznej: Aktualne Problemy w Budownictwie Ogólnym i Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych (BUDIN 2023), która odbyła się w dniach 30-31.03.2023 w Szklarskiej Porębie [K4].

**Moim osiągnięciem naukowym, wynikającym z artykułu [A6], jest zaproponowanie modelu badań i podanie jego parametrów w celu określenia najlepszego dopasowania krzywej kosztu, na podstawie przebiegu planowanego i rzeczywistego kosztu, w wybranych przedsięwzięciach budowlanych, w postaci funkcji wielomianowej 3-go stopnia.**

Artykuł kończący i podsumowujący cykl 7 powiązanych tematycznie artykułów naukowych [A7] został opublikowany w czasopiśmie *Civil and Environmental Engineering Reports*, w 2023 roku. W tym artykule, jako podsumowanie mojego osiągnięcia naukowego, opisałem autorską Metodę Przebiegu Krzywej Kosztu Skumulowanego, o akronimie **CCCC** (*Course of Cumulative Cost Curves Method*), najlepszego dopasowania krzywej skumulowanego kosztu oraz wyznaczenia obszaru poprawnego planowania skumulowanego kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych.

Zaproponowana metodyka badań składa się z 7 etapów i przedstawiłem ją na rysunku 9:

- etap 1: Pozyskanie danych o zrealizowanych przedsięwzięciach budowlanych,
- etap 2: Opracowanie bazy wiedzy,
- etap 3: Przetworzenie zgromadzonych danych,
- etap 4: Graficzne przedstawienie przetworzonych zgromadzonych danych,
- etap 5: Wyznaczenie krzywych najlepszego dopasowania,
- etap 6: Wyznaczenie obszaru krzywych kosztu,
- etap 7: Wyznaczenie scenariuszy postępowania.



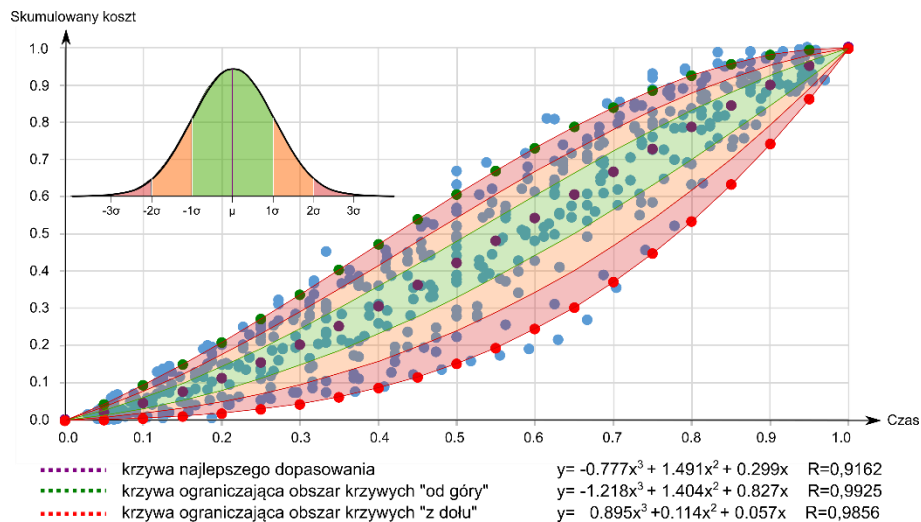
Rysunek 9. Metodyka badań [A7]

Celem artykułu było określenie najlepszego dopasowania krzywej kosztu dla przedsięwzięć budowlanych należących do trzech grup/sektorów budownictwa oraz wyznaczenie obszaru przebiegu skumulowanego kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych do planowania i monitorowania przedsięwzięć budowlanych. Na podstawie analizy przeprowadzonych badań własnych w 3 grupach/sektorach budownictwa, a mianowicie: budynków zbiorowego zamieszkania, budynków hotelowych i budynków handlowo-usługowych, wyznaczyłem krzywe najlepszego dopasowania, obszary krzywych skumulowanego kosztu. Do wyznaczenia obszaru krzywych zastosowałem regułę Trzech Sigm.

W celu wyznaczenia obszaru krzywych kosztu określiłem, dla każdego analizowanego zbioru danych, trzy krzywe, a mianowicie:

- krzywą najlepszego dopasowania,
- krzywą ograniczającą obszar krzywych „od góry” oraz
- krzywą ograniczającą przestrzeń krzywych „z dołu”.

Na rysunku 10 przedstawiłem przykładowy obszar (nomogram) krzywych kosztu skumulowanego.



Rysunek 10. Przykładowa krzywa najlepszego dopasowania oraz obszar krzywych kosztu skumulowanego (nomogram) [A7]

Wiedza na temat planowanego przebiegu skumulowanych nakładów finansowych w czasie i kształtu krzywej kosztu i jej odchyleń pozwala na racjonalne podejmowanie działań zmierzających do osiągnięcia zamierzonego celu w realizacji przedsięwzięcia budowlanego.

Podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych istotne dla decydentów jest podejmowanie odpowiednich decyzji, w przypadku pojawiających się anomalii i/lub zmian w inwestycji na różnych jego etapach. I tak np. menedżer budowlany, w zależności od pełnionej roli, przygotowując się do realizacji inwestycji określa pewne parametry charakteryzujące przedsięwzięcie inwestycyjne. Inwestor planując przedsięwzięcie budowlane określa dostępny budżet inwestycji i termin realizacji. Z kolei wykonawca robót opracowuje harmonogram rzeczowo-finansowy, który pozwala na zaplanowanie wartości robót budowlanych i określić niezbędny czas na ich zrealizowanie.

Otrzymane, w wyniku prowadzonych badań, krzywe najlepszego dopasowania oraz wyznaczone obszary krzywych kosztu pomagają decydentom zaplanować przebieg przedsięwzięcia budowlanego, uwzględniając budżet inwestycji i czas jego trwania. Dodatkowo, korzystając z zaproponowanych obszarów krzywych kosztu możliwe jest monitorowanie przebiegu przedsięwzięcia budowlanego i odpowiednie reagowanie na zaistniałe sytuacje. W zależności od momentu w czasie, w którym znajduje się kontrolowane przedsięwzięcie, możliwe jest szybkie oszacowanie odchyleń od planowanych wartości, w zakresie kosztu i czasu. Wyznaczone funkcje wielomianowe i wykresy obszarów rzeczywistych krzywych kosztu, w postaci nomogramów, stanowią wiarygodne odwzorowanie graficzne użyteczne do prostej aplikacji wyników moich badań w zbliżonych typologicznie sektorach budownictwa.

Do monitoringu i kontroli przebiegu przedsięwzięcia budowlanego zaproponowałem, zgodnie z regułą Trzech Sigm, podział obszaru krzywych kosztu na 3 zakresy odpowiadające trzem scenariuszom postępowania. Zastosowałem podział obszaru zgodnie z tą regułą, ponieważ taki podział, z dużą skutecznością, wykorzystywany jest jako system ostrzegania o niebezpieczeństwie, o anormalnym zachowaniu, o czymś niespotykanym. W tym celu opracowałem model z określonymi parametrami/system

„ostrzegania” o nieprawidłowościach. I tak, obszar krzywej kosztu podzieliłem na następujące trzy obszary:

- obszar z zakresu  $< -\sigma, \sigma >$ , zakres akceptowalny (oznaczony kolorem zielonym na rysunku 10),
- obszar z zakresu  $< -2\sigma, \sigma > \cup < -\sigma, 2\sigma >$ , zakres tolerowalny (oznaczony kolorem pomarańczowym na rysunku 10),
- obszar z zakresu  $< -3\sigma, 2\sigma > \cup < -2\sigma, 3\sigma >$ , zakres nieakceptowalny (oznaczony kolorem czerwonym na rysunku 10).

Monitoring prowadzony jest w odniesieniu do planowanego przez decydenta harmonogramu rzeczowo-finansowego, tj. krzywej planowanego kosztu planowanej pracy (BCWS). W momencie kontroli stanu przedsięwzięcia budowlanego mogą pojawić się trzy scenariusze (sytuacje), dla których zaproponowałem następujące rekomendacje:

- sytuacja 1: analizowana wartość znajduje się w zakresie akceptowalnym (obszar zielony). Oznacza to, że przedsięwzięcie budowlane realizowane jest prawidłowo, z niewielkimi odchyleniami i wystarczający jest dalszy monitoring w odniesieniu do wzorcowej krzywej planowanego kosztu planowanej pracy (BCWS).
- sytuacja 2: analizowana wartość znajduje się w zakresie tolerowalnym (obszar pomarańczowy). Oznacza to, że przedsięwzięcie budowlane realizowane jest z odchyleniami, które mogą mieć wpływ na budżet i termin zakończenia. Zalecane jest porównanie przebiegu krzywej kosztu w odniesieniu do wzorcowej krzywej rzeczywistego kosztu wykonanej pracy (ACWP).
- sytuacja 3: analizowana wartość znajduje się w zakresie nieakceptowalnym (obszar czerwony). Oznacza to, że przedsięwzięcie budowlane realizowane jest z odchyleniami, które mogą mieć istotny wpływ na zwiększenie wartości budżetu i wydłużenie terminu zakończenia inwestycji. Istotne jest porównanie przebiegu krzywej kosztu w odniesieniu do wzorcowej krzywej rzeczywistego kosztu wykonanej pracy (ACWP) i opracowanie działań naprawczych.

**Moim osiągnięciem naukowym, wynikającym z artykułu [A7], jest:**

- **opracowanie autorskiej Metody Przebiegu Krzywej Kosztu Skumulowanego,**
- **zaproponowanie obszaru najlepszego dopasowania przebiegu krzywych kosztu do planowania i monitorowania kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych,**
- **wyznaczenie funkcji wielomianowych i wykresów obszarów rzeczywistych krzywych kosztu, w postaci nomogramów, dla 3 grup/sektorów budownictwa, a mianowicie: budynków zbiorowego zamieszkania, budynków hotelowych i budynków handlowo-usługowych,**
- **opracowanie modelu z określonymi parametrami/systemu „ostrzegania o nieprawidłowościach”, opartego na obszarze krzywych kosztu i regule Trzech Sigm,**
- **zarekomendowanie do praktyki budowlanej stosowania do prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsięwzięciach budowlanych obszaru krzywych kosztu, zamiast posługiwania się jednym, modelowym, teoretycznym lub empirycznym wyrażeniem matematycznym opisującym krzywą kosztu.**

#### 4.4.7 Weryfikacja modelu. Kierunki prowadzonych dalszych badań

Weryfikacja zaproponowanych przeze mnie modeli została przeprowadzona, i nadal jest kontynuowana, przez głównego odbiorcę i użytkownika zaproponowanych rozwiązań, tj. przez banki. Banki udzielające kredytów inwestycyjnych na realizację przedsięwzięć budowlanych są zainteresowane opracowanymi przeze mnie wynikami badań i wdrażają je do codziennej praktyki.

W dniu 31.01.2023 r. omówiłem wyniki moich badań podczas prowadzonego przeze mnie, w głównej siedzibie banku w Warszawie, seminarium/szkolenia pt.: „Zmienność trendu i wielkości odchylenia planowanego i poniesionego kosztu w zróżnicowanych zadaniach inwestycyjnych”, dla ponad 45 pracowników jednego z największych banków w Polsce – Banku Pekao S.A. oraz Pekao Bank Hipoteczny. Uczestnikami szkolenia byli pracownicy np. Biura Wycen i Analiz Nieruchomości, Departamentu Ryzyka, Pionu Zarządzania Ryzykami, Departamentu Bankowości Inwestycyjnej i Finansowania Nieruchomości.

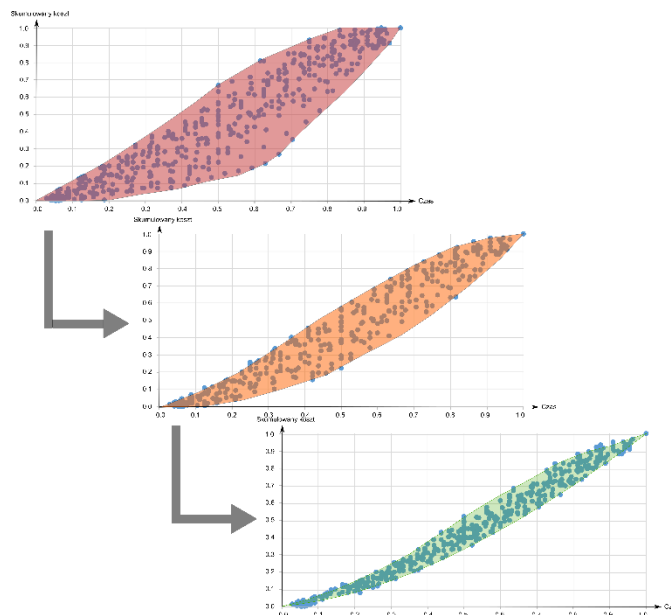
Przeprowadzone szkolenie było odpowiedzią na zapotrzebowanie rynku finansowego, który ma problem z nierealnymi rezerwami budżetowymi przyjmowanymi przez inwestorów podczas udzielania kredytów inwestycyjnych. Od tego jak bank, ale również audytor – Bankowy Inspektor Nadzoru – oceni przedsięwzięcie budowlane zależy poprawne finansowanie inwestycji. Banki starają się urealnić budżet przedsięwzięcia budowlanego i uwzględnić rzeczywisty koszt poprzez przyjęcie zróżnicowanych rezerw budżetowych w zależności od grup/sektorów budownictwa oraz redukcję współczynnika niedotrzymania budżetu z 0,8 (podawanego przez PMI) do wartości odpowiadającej urealnionej rezerwie budżetowej.

Efektem szkolenia było przekazanie bankom prezentowanych w autoreferacie wyników moich badań, które urealniają koszt planowany i rezerwy budżetowe różnorodnych zadań inwestycyjnych.

Przedstawione w autoreferacie osiągnięcia nie wyczerpują wszystkich problemów związanych z modelowaniem przedsięwzięć budowlanych. W zakresie omawianego zagadnienia tematyka jest rozwojowa i powinna być kontynuowana w zakresie np. badania możliwości wykorzystania innych metod, np. metod sztucznej inteligencji, do predykcji krzywych kosztu i jego obszaru w różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych, a także badania zależności między przerobem robót budowlanych a odchyleniem rzeczywistego kosztu od planowanego.

Wskazane jest również dalsze rozbudowywanie bazy wiedzy o nowe przedsięwzięcia budowlane, ponieważ z wraz ze zwiększającą się liczbą analizowanych przedsięwzięć budowlanych możliwe jest iteracyjne zawężanie obszaru rzeczywistego kosztu w różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych (przedstawione na rysunku 11) tak, aby możliwe było przekazanie bankom nowych, praktycznych wyników np. w postaci współczynników korygujących, które będą przybliżać planowany koszt do rzeczywistego. Tak też zamierzam uczynić zgłębiając i doskonaląc zaprezentowane moje osiągnięcia naukowe.





Rysunek 11. Iteracyjne zawężanie obszaru rzeczywistego kosztu w różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych

#### 4.4.8 Podsumowanie wkładu osiągnięć habilitanta do dyscypliny inżynieria lądowa, geodezja i transport

Wypracowane podejście badawcze jest wynikiem wieloletnich badań nad rozwojem metod i narzędzi do modelowania przedsięwzięć budowlanych. W zaplanowanym cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych opracowałem metodę, dzięki której możliwe jest prognozowanie przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji, najlepszego dopasowania krzywej kosztu oraz wyznaczenia obszaru poprawnego planowania kosztu dla wybranych przedsięwzięć budowlanych. Metodę opracowałem korzystając z wiarygodnej bazy wiedzy, zawierającej informację o archiwalnych różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych, którą sam wypracowałem od 2017 r.

Przeprowadzone przeze mnie badania rozszerzają dotychczas stosowane podejście wykorzystujące Metodę Wartości Wypracowanej i miały na celu zaproponowanie kompleksowego podejścia do prognozowania krzywych kosztu. Zaproponowany przeze mnie model pozwala na wczesne ostrzeżenie decydenta o możliwości przekroczenia kosztu. Opracowując autorską metodę połączyłem dwie dotychczas stosowane metody do kontroli i monitorowania przedsięwzięć budowlanych (metoda krzywej kosztów skumulowanych - Metoda Krzywej „S” oraz Metoda Wartości Wypracowanej) w jedną autorską Metodą Przebiegu Krzywej Kosztu Skumulowanego, najlepszego dopasowania krzywych kosztu i obszaru krzywych w wybranych przedsięwzięciach budowlanych. Monitoring prowadzony zgodnie z zaproponowanym modelem z określonymi parametrami/systemem „ostrzeżenia o nieprawidłowościach” pozwala na skuteczne zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym w zakresie kosztu i pozwala na zmniejszenie możliwości wystąpienia przekroczenia kosztu.



Za najważniejsze osiągnięcia naukowe prezentowanego cyklu powiązanych tematycznie artykułów pt.: „*Prognozowanie przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsięwzięciach budowlanych*” uważam:

1. Prowadzenie badań związanych z analizą krzywej skumulowanego kosztu mających potencjał do prognozowania kosztu i ich przekroczeń.
2. Utworzenie na podstawie zgromadzonych raportów Bankowego Inspektora Nadzoru reprezentatywnego zbioru danych do prowadzenia badań nad opracowaniem autorskiej metody prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji, najlepszego dopasowania krzywych kosztu i obszaru kosztu wybranych przedsięwzięć budowlanych.
3. Opracowanie modelu i przebadanie przebiegu planowanych, rzeczywistych i wypracowanych krzywych kosztu dla wybranych przedsięwzięć budowlanych zgromadzonych w opracowanej bazie wiedzy.
4. Zaproponowanie metodyki badań przebiegu krzywej kosztu poprzez połączenie dwóch dotychczas stosowanych metod do kontroli i monitorowania przedsięwzięć budowlanych (metoda krzywej kosztów skumulowanych – Metoda Krzywej „S” oraz Metoda Wartości Wypracowanej) w jedną autorską Metodę Przebiegu Krzywej Kosztu Skumulowanego, najlepszego dopasowania krzywej kosztu i obszaru kosztu w wybranych przedsięwzięciach budowlanych. Tak sformułowana kompleksowa metoda zapewnia kluczową informację z punktu widzenia dokładnego i rzetelnego określenia kosztu przedsięwzięć budowlanych.
5. Zbadanie dopasowania krzywej skumulowanego kosztu w wielomian 6-go oraz 3-go stopnia za pomocą współczynnika determinacji  $R^2$  oraz współczynnika korelacji  $R$ .
6. Opracowanie i zastosowanie współczynników korelacji do analizy planowanego kosztu wynikającego z harmonogramu prac i rzeczywistego kosztu poniesionego w trakcie realizacji przedsięwzięć budowlanych.
7. Wykazanie, że kształt krzywej skumulowanego kosztu w ramach jednorodnej grupy/sektora budownictwa przebiega podobnie, jednak porównując je pomiędzy różnymi grupami przedsięwzięć inwestycyjnych widoczna jest duża różnorodność.
8. Opracowanie modelu badań i podanie jego parametrów w celu określenia najlepszego dopasowania krzywej kosztu, na podstawie przebiegu planowanego i rzeczywistego kosztu, wybranych przedsięwzięć budowlanych, w postaci funkcji wielomianowej 3-go stopnia.
9. Zaproponowanie obszaru najlepszego dopasowania przebiegu krzywych kosztu do planowania i monitorowania kosztu w różnorodnych przedsięwzięciach budowlanych.
10. Opracowanie modelu z określonymi parametrami/systemu „ostrzegania o nieprawidłowościach”, opartego na obszarze krzywych kosztu i regule Trzech Sigm.
11. Zarekomendowanie do praktyki budowlanej stosowania do prognozowania przebiegu rzeczywistego kosztu realizacji w wybranych przedsięwzięciach budowlanych obszaru krzywych kosztu, zamiast posługiwania się jednym, modelowym, teoretycznym lub empirycznym wyrażeniem matematycznym opisującym krzywą kosztu.

#### 4.4.9 Literatura cytowana w autoreferacie

- Abba, W. F. (2000). How earned value got to primetime: a short look back and glance ahead. *Project Management Institute Annual Seminars & Symposium*.
- Alhammadi, A. S. A. M., Memon, A. H. (2020). Ranking of the factors causing cost overrun in infrastructural projects of UAE. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 11(2), 204–211.
- Almeida, R., Abrantes, R., Romão, M., Proença, I. (2021). The Impact of Uncertainty in the Measurement of Progress in Earned Value Analysis. *Procedia Computer Science*, 181, 457–467.
- Amusan, L. M., Afolabi, A., Ojelabi, R., Omuh, I., Okagbue, H. I. (2018). Data exploration on factors that influences construction cost and time performance on construction project sites. *Data in Brief*, 17, 1320–1325.
- Asiedu, R. O., Adaku, E. (2020). Cost overruns of public sector construction projects: a developing country perspective. *International Journal of Managing Projects in Business*, 13(1), 66–84.
- Aslam, M., Baffoe-Twum, E., Saleem, F. (2019). Design Changes in Construction Projects – Causes and Impact on the Cost. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 5(7), 1647–1655.
- Babar, S., Thaheem, M. J., Ayub, B. (2016). Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(3), 04016104.
- Bagherpour, M., Khaje Zadeh, M., Mahmoudi, A., Deng, X. (2020). Interpretive structural modeling in Earned Value Management. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(6), 524–533.
- Banki, M. T., Esmaeeli, B. (2008). Using historical data for forecasting s-curves at construction industry. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 282–286.
- Bhosekar, S. K., Vyas, G. (2012). Cost Controlling Using Earned Value Analysis in Construction Industries. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 1(4).
- Blyth, K., Kaka, A. (2006). A novel multiple linear regression model for forecasting S-curves. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 13(1), 82–95.
- Boussabaine, A. H., Elhag, T. (1999). Applying fuzzy techniques to cash flow analysis. *Construction Management and Economics*, 17(6), 745–755.
- Cantarelli, C. C., Molin, E. J. E., Van Wee, B., Flyvbjerg, B. (2012). Characteristics of cost overruns for Dutch transport infrastructure projects and the importance of the decision to build and project phases. *Transport Policy*, 22, 49–56.
- Chao, L.-C., Chen, H.-T. (2015). Predicting project progress via estimation of S-curve's key geometric feature values. *Automation in Construction*, 57, 33–41.
- Chao, L.-C., Chien, C.-F. (2009). Estimating Project S-Curves Using Polynomial Function and Neural Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3), 169–177.
- Chao, L.-C., Chien, C.-F. (2010). A Model for Updating Project S-curve by Using Neural Networks and Matching Progress. *Automation in Construction*, 19(1), 84–91.
- Chen, H. L., Chen, W. T., Lin, Y. L. (2016). Earned value project management: Improving the predictive power of planned value. *International Journal of Project Management*, 34(1), 22–29.
- Chen, Z., Demeulemeester, E., Bai, S., Guo, Y. (2020). A Bayesian approach to set the tolerance limits for a statistical project control method. *International Journal of Production Research*, 58(10), 3150–3163.
- Cioffi, D. F. (2005). A tool for managing projects: an analytic parameterization of the S-curve. *International Journal of Project Management*, 23(3), 215–222.
- Cristóbal, J. R. S. (2017). The S-curve envelope as a tool for monitoring and control of projects. *Procedia Computer Science*, 121, 756–761.
- Czarnigowska, A. (2008). Earned value method as a tool for project control. *Budownictwo i Architektura*, 3(2), 15–32.

- Czarnigowska, A. (2009). Monitoring of project progress using the Earned Value. *Przegląd Budowlany*, 80(2), 50–55.
- Czemplik, A. (2014). Application of earned value method to progress control of construction projects. *Procedia Engineering*, 91, 424–428.
- De Marco, A., Narbaev, T. (2013). Earned value-based performance monitoring of facility construction projects. *Journal of Facilities Management*, 11(1), 69–80.
- de Neufville, R., Scholtes, S., Wang, T. (2006). Real Options by Spreadsheet: Parking Garage Case Example. *Journal of Infrastructure Systems*, 12(2), 107–111.
- Derakhshanlavijeh, R., Teixeira, J. M. C. (2017). Cost overrun in construction projects in developing countries, Gas-Oil industry of Iran as a case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, 23(1), 125–136.
- Dziadosz, A., Kapliński, O., Rejment, M. (2014). Usefulness and fields of the application of the Earned Value Management in the implementation of construction projects. *Budownictwo i Architektura*, 13(4), 357–364.
- Dziadosz, A. (2017). *Zmodyfikowana metoda kontroli stanu zaawansowania robót i oceny ryzyka realizacji przedsięwzięcia budowlanego*. Rozprawa doktorska. Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Instytut Konstrukcji Budowlanych, Zakład Technologii i Organizacji Budownictwa.
- Flyvbjerg, B., Skamris Holm, M. K., Buhl, S. L. (2004). What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects? *Transport Reviews*, 24(1), 3–18.
- Główny Urząd Nadzoru Budowlanego. (2007-2023). *Ruch budowlany w 2006 – 2022 r.* Warszawa
- Gunduz, M., Maki, O. L. (2018). Assessing the risk perception of cost overrun through importance rating. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(5), 1829–1844.
- Hajali-Mohamad, M. T., Mosavi, M. R., Shahanaghi, K. (2016). Optimal estimating the project completion time and diagnosing the fault in the project. *DYNA*, 83(195), 121–127.
- Han, S., Love, P., Peña-Mora, F. (2013). A system dynamics model for assessing the impacts of design errors in construction projects. *Mathematical and Computer Modelling*, 57(9–10), 2044–2053.
- Howes, R. (2000). Improving the performance of Earned Value Analysis as a construction project management tool. In *Engineering, Construction and Architectural Management*, 7(4), 399–411.
- Hsieh, T. Y., Wang, M. H. L., Chen, C. W., Chen, C. Y., Yu, S. E., Yang, H. C., Chen, T. H. (2006). A new viewpoint of s-curve regression model and its application to construction management. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 15(2), 131–142.
- Hsieh, T.-Y., Hsiao-Lung Wang, M., Chen, C.-W. (2004). A Case Study of S-Curve Regression Method to Project Control of Construction Management via T-S Fuzzy Model. *Journal of Marine Science and Technology*, 12(3), 209–216.
- IPMA (2015). IPMA Individual Competence Baseline.
- Jiang, A., Issa, R. R. A., Malek, M. (2011). Construction Project Cash Flow Planning Using the Pareto Optimality Efficiency Network Model. *Vilnius Gediminas Technical University*, 17(4), 510–519.
- Karunakaran, P., Abdullah, A. H., Nagapan, S., Sohu, S., Kasvar, K. K. (2018). Categorization of potential project cost overrun factors in construction industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 140(1).
- Kasprowiez, T., Starczyk-Kołbyk, A., Wójcik, R. R. (2022). The randomized method of estimating the net present value of construction projects efficiency. *International Journal of Construction Management*, 23(12), 2126 – 2133.
- Khamidi, M., Khan, W., Idrus A. (2011). The Cost Monitoring of Construction Projects Through Earned Value Analysis. *International Conference on Economics and Finance Research*, 129–133.

- Konior, J. (2019). Monitoring of Construction Projects Feasibility by Bank Investment Supervision Approach. *Civil Engineering and Architecture*, 7(1), 31–35.
- Kowalski, J., Połośki, M., Lendo-Siwicka, M., Trach, R., Wrzesiński, G. (2021). Method of Assessing the Risk of Implementing Railway Investments in Terms of the Cost of Their Implementation. *Sustainability*, 13(23).
- Larsen, J. K., Shen, G. Q., Lindhard, S. M., Brunoe, T. D. (2016). Factors Affecting Schedule Delay, Cost Overrun, and Quality Level in Public Construction Projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(1).
- Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., Anbari, F. (2009). Prediction of project outcome. The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International Journal of Project Management*, 27(4), 400–407.
- Love, P. E. D., Edwards, D. J., Irani, Z., Walker, D. H. T. (2009). Project pathogens: The anatomy of omission errors in construction and resource engineering project. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 56(3), 425–435.
- Makesh, S., Mathivanan, M. (2019). Analysis on causes of delay in building construction. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(7), 335–341.
- Miranda Sarmiento, J., Renneboog, L. (2017). Cost Overruns in Public Sector Investment Projects. *Public Works Management and Policy*, 22(2), 140–164.
- Miskawi, Z. (1989). An S-curve equation for project control. *Construction Management and Economics*, 7(2), 115–124.
- Mohagheghi, V., Meysam Mousavi, S., Vahdani, B. (2017). An Assessment Method for Project Cash Flow under Interval-Valued Fuzzy Environment. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 22, 79–80.
- Mohamad, H. M., Mohamad, M. I., Saad, I., Bolong, N., Mustazama, J., Razali, S. N. M. (2021). A case study of s-curve analysis: Causes, effects, tracing and monitoring project extension of time. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 7(4), 649–661.
- Ostojic-Skomrlj, N., Radujkovic, M. (2012). S-curve modelling in early phases of construction projects. *Gradevinar*, 64(8), 647–654.
- Peer, S. (1982). Application of Cost-Flow Forecasting Models. *Journal of the Construction Division*, 108(2), 226–232.
- Plebankiewicz, E. (2018). Model of predicting cost overrun in construction projects. *Sustainability*, 10(12).
- Polat, G., Okay, F., Eray, E. (2014). Factors affecting cost overruns in micro-scaled construction companies. *Procedia Engineering*, 85, 428–435.
- Project Management Institute (2017), Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) 6th Edition; Project Management Institute (PMI), ISBN 9781935589679.
- Przywara, D., Rak, A. (2017). The time-cost analysis of schedule monitoring using the earned value method. *Technical Transactions*, 5(114), 57–66.
- Przywara, D., Rak, A. (2021). Monitoring of Time and Cost Variances of Schedule Using Simple Earned Value Method Indicators. *Applied Sciences*, 11(4).
- Rachid, Z., Toufik, B., Mohammed, B. (2019). Causes of schedule delays in construction projects in Algeria. *International Journal of Construction Management*, 19(5), 371–381.
- Salari, M., Bagherpour, M., Reihani, M. H. (2015). A time-cost trade-off model by incorporating fuzzy earned value management: A statistical based approach. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 28(4), 1909–1919.
- Salari, M., Khamooshi, H. (2016). A better project performance prediction model using fuzzy time series and data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 67(10), 1274–1287.

- Senouci, A. B., Mubarak, S. A. (2016). Multiobjective optimization model for scheduling of construction projects under extreme weather. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(3), 373–381.
- Senouci, A., Ismail, A., Eldin, N. (2016). Time Delay and Cost Overrun in Qatari Public Construction Projects. *Procedia Engineering*, 164, 368–375.
- Starczyk-Kołbyk, A. (2019). *Randomizowana metoda identyfikacji stanu zaawansowania robót i korekty planu budowy*. Rozprawa doktorska. Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, Katedra Budownictwa Komunikacyjnego i Inżynierii Wojskowej.
- Starczyk-Kołbyk, A., Kruszka, L. (2021). Use of the EVM method for analysis of extending the construction project duration as a result of realization disturbances – Case study. *Archives of Civil Engineering*, 67(3), 373–393.
- Tijanić, K., Car-Pušić, D. (2017). Application of S-curve in EVA Method. *13th International Conference "Organization, Technology and Management in Construction,"* 103–115.
- Vandevoorde, S., Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of Project Management*, 24(4), 289–302.
- Wang, K. C., Wang, W. C., Wang, H. H., Hsu, P. Y., Wu, W. H., Kung, C. J. (2016). Applying building information modeling to integrate schedule and cost for establishing construction progress curves. *Automation in Construction*, 72, 397–410.
- Waris, M., Khamidi, M. F., Idrus, A. (2012). The Cost Monitoring of Construction Projects through Earned Value Analysis. *Journal of Construction Engineering and Project Management*, 2(4), 42–45.
- Wauters, M., Vanhoucke, M. (2014). Study of the Stability of Earned Value Management Forecasting. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(4).
- Yap, J. B. H., Skitmore, M. (2020). Ameliorating time and cost control with project learning and communication management: Leveraging on reusable knowledge assets. *International Journal of Managing Projects in Business*, 13(4), 767–792.
- Yaseen, Z. M., Ali, Z. H., Salih, S. Q., Al-Ansari, N. (2020). Prediction of Risk Delay in Construction Projects Using a Hybrid Artificial Intelligence Model. *Sustainability*, 12(4), 1514.
- Ziółkowska, A., Połowski, M. (2015). Application of the EVM method and its extensions in the implementation of construction objects. *Engineering Structures and Technologies*, 7(4), 189–196.
- Zohoori, B., Verbraeck, A., Bagherpour, M., Khakdaman, M. (2019). Monitoring production time and cost performance by combining earned value analysis and adaptive fuzzy control. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 805–821.

## 5 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych

### 5.1 Osiągnięcie naukowe w okresie przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora (2013 – 2018) moje zainteresowania naukowe obejmowały temat naukowo-badawczy związany z zagadnieniami bezpieczeństwa i higieny pracy w budownictwie.

Najbardziej znaczącym osiągnięciem naukowym, w tym okresie, było opracowanie autorskiego modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie. Osiągnięcie to było podstawą nadania stopnia naukowego doktora, w dziedzinie nauk technicznych, w dyscyplinie budownictwo i wyróżnienia rozprawy doktorskiej przez Radę Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej.

Do zamodelowania złożonego procesu wypadkowego, który tworzy ciąg wypadków zachodzących w dyskretnych momentach czasu, na różnych pod względem lokalizacji, konstrukcji i wyposażenia technicznego, budowach zaproponowałem graf skierowany. W celu uwzględnienia wszystkich okoliczności przebiegu i skutków wypadku w modelu wyróżniłem dwa rodzaje zdarzeń: zdarzenia rzeczywiste, które zgodnie z teorią systemów powodują zmianę stanu systemu jakim jest plac budowy oraz zdarzenia pozorne opisujące okoliczności w jakich doszło do wypadku oraz jego skutki. Opracowałem metodykę analizy omawianego złożonego procesu wypadkowego.

Aby możliwe było opracowanie modelu rozwoju zjawiska wypadkowości w polskim budownictwie pozyskałem z Okręgowych Inspektoratów Pracy w Polsce niezbędny materiał badawczy w postaci Protokołów Kontroli powypadkowej. Na podstawie zgromadzonych materiałów opracowałem strukturę bazy danych o wypadkach przy pracy, którą zaimplementowałem w postaci aplikacji webowej: Informatycznej Bazy Danych (IBD).

Na podstawie analizy wypadków przy pracy w budownictwie, w których zostało poszkodowanych 485 osób, dokonałem oceny poszczególnych sektorów przedsiębiorstw budowlanych pod względem wypadkowości, zdefiniowałem prawdopodobieństwa wystąpienia poszczególnych scenariuszy przebiegu wypadków oraz określiłem scenariusze o największym prawdopodobieństwie. Dla scenariusza o największym prawdopodobieństwie zdefiniowałem przyczyny wypadków oraz wskazałem przyczyny najbardziej istotne.

Potwierdzeniem, że wyżej opisane osiągnięcie naukowe jest znaczące dla środowiska naukowego, jest zainteresowanie innych badaczy artykułami, których jestem autorem lub współautorem, oraz ich cytowania, a także zaproszenie do współpracy z innymi ośrodkami naukowymi, m.in. z University of the West of England (Wielka Brytania), Centro Tecnológico del Mármol (Hiszpania) oraz GSFC University (Indie).

Wyniki badań w tym zakresie opublikowałem w formie rozdziałów w monografiach naukowych oraz artykułów w czasopismach naukowych. Ponadto efekty badań zostały zaprezentowane podczas konferencji krajowych oraz międzynarodowych.

## 5.2 Osiągnięcia naukowe w okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

W okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (2018 – 2024) moje zainteresowania naukowe obejmowały tematy naukowo-badawcze związane z zagadnieniami bezpieczeństwa i higieny pracy, a w szczególności:

1. **Modelowanie procesu wypadkowego i analiza przyczyn wypadków przy pracy** (Osiągnięcie II),
2. **Zastosowanie innowacyjnych technologii w budownictwie** (Osiągnięcie III).

### 5.2.1 Osiągnięcie II: Modelowanie procesu wypadkowego i analiza przyczyn wypadków przy pracy

Poniżej wyszczególniłem, z podaniem danych bibliograficznych, najistotniejsze artykuły w ramach **osiągnięcia II pt. „Modelowanie procesu wypadkowego i analiza przyczyn wypadków przy pracy”**.

- [B1] **Szóstak M.**<sup>✉</sup>, Analysis of occupational accidents in the construction industry with regards to selected time parameters. *Open Engineering*. **2019**, vol. 9, nr 1, s. 312-320. <http://dx.doi.org/10.1515/eng-2019-0027>  
**Punktacja MEiN z 2019-2022: 70 pkt.**
- [B2] **Szóstak M.**<sup>✉</sup>, Wpływ wybranych rodzajów robót na wypadkowość w budownictwie. *Materiały Budowlane*. **2018**, nr 10, s. 107-109. <http://dx.doi.org/10.15199/33.2018.10.33>  
**Punktacja MNiSW z 2013-2018: 8 pkt.**
- [B3] **Szóstak M.**<sup>✉</sup> Hoła B., Modeling of the accidentality phenomenon in the construction industry. *Applied Sciences*. **2019**, vol. 9, nr 9, art. 1878, s. 1-16. <http://dx.doi.org/10.3390/app9091878>  
**Punktacja MEiN z 2019-2022: 100 pkt.** **Impact Factor (2019): 02.474**
- [B4] Sawicki M. **Szóstak M.**<sup>✉</sup>, Ocena stanu bezpieczeństwa pracy na rusztowaniach budowlanych na podstawie protokołów kontroli powypadkowej. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*. **2019**. vol. 18, nr 2, s. 51-59. <http://dx.doi.org/10.22630/ASPA.2019.18.2.22>  
**Punktacja MEiN z 2019-2022: 20 pkt.**
- [B5] Sawicki M. **Szóstak M.**<sup>✉</sup>, Quantitative assessment of the state of threat of working on construction scaffolding. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. **2020**, vol. 17, nr 16, art. 5773, s. 1-19. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17165773>  
**Punktacja MEiN z 2019-2022: 140 pkt.** **Impact Factor (2020): 03.390**
- [B6] Sawicki M. **Szóstak M.**<sup>✉</sup>, Impact of alcohol on occupational health and safety in the construction industry at workplaces with scaffoldings. *Applied Sciences*. **2020**, vol. 10, nr 19, art. 6690, s. 1-23. <http://dx.doi.org/10.3390/app10196690>  
**Punktacja MEiN z 2019-2022: 100 pkt.** **Impact Factor (2020): 02.679**

[B7] Sawicki M. Szóstak M.<sup>✉</sup>, Wpływ alkoholu na ryzyko wypadku na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych. *Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska = Scientific Review. Engineering and Environmental Sciences*. 2020. vol. 29, nr 4, s. 504-516.

<http://dx.doi.org/10.22630/PNIKS.2020.29.4.44>

**Punktacja MEiN z 2019-2022: 20 pkt.**

[B8] Szóstak M.<sup>✉</sup> Hoła B. Bogusławski P., Identification of accident scenarios involving scaffolding. *Automation in Construction*. 2021, vol. 126, art. 103690, s. 1-13.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103690>

**Punktacja MEiN z 2019-2022: 140 pkt.**

**Impact Factor (2021): 10.517**

W tabeli 6 wykazałem najistotniejsze artykuły związane z osiągnięciem, natomiast pozostałe artykuły wyszczególniłem w Załączniku nr 4. Wykaz osiągnięć, w pkt. 2.4. c).

Tabela 6. Zestawienie parametrów naukometrycznych artykułów w ramach **osiągnięcia II**

Oznaczn.	Czasopismo	Rok opublikowania	Jedyny autor	Autor korespondencyjny	IF w roku opublikowania	Punktacja MEiN
[B1]	<i>Open Engineering</i>	2019	x	x	-	70
[B2]	<i>Materiały Budowlane</i>	2018	x	x	-	8*
[B3]	<i>Applied Sciences</i>	2019	-	x	02.474	100
[B4]	<i>Acta Scientiarum Polonorum. Architectura</i>	2019	-	x	-	20
[B5]	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	2020	-	x	03.390	140
[B6]	<i>Applied Sciences</i>	2020	-	x	02.679	100
[B7]	<i>Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska</i>	2020	-	x	-	20
[B8]	<i>Automation in Construction</i>	2021	-	x	10.517	140
<i>Sumaryczny IF publikacji w cyklu</i>					<b>19.060</b>	
<i>Średni IF na publikację z IF</i>					<b>4.765</b>	
<i>Całkowita suma punktów MEiN nie podzielona na liczbę autorów</i>						<b>598</b>
<i>Suma punktów MEiN przypadająca na wnioskodawcę</i>						<b>398,67</b>

\* artykuł opublikowany w 2018 roku, w którym obowiązywał ujednolicony wykaz punktowanych czasopism naukowych za lata 2013–2018 (komunikat MNiSW z dn. 25 stycznia 2017 r.), dla którego w części B maksymalna punktacja za publikacje w czasopismach naukowych nieposiadających współczynnika wpływu Impact Factor (IF) wynosiła 15.



Z każdym rodzajem działalności ludzkiej związane jest ryzyko pojawienia się niebezpiecznych zdarzeń zagrażających życiu i zdrowiu człowieka. Niebezpieczne zdarzenia, w skrajnych sytuacjach, prowadzą do wypadków przy pracy, których skutkiem mogą być straty materialne, urazy o różnym stopniu ciężkości, a nawet śmierć pracownika. Zrozumienie mechanizmów powstawania wypadków przy pracy jest pierwszym krokiem w procesie zapobiegania wypadkom i poprawy bezpieczeństwa w miejscu pracy. W tym celu prowadziłem szczegółowe analizy okoliczności, przyczyn i przebiegu wypadków przy pracy. Korzystając z opracowanego w ramach rozprawy doktorskiej modelu rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie kontynuowałem badania związane z modelowaniem procesu wypadkowego oraz analizą przyczyn wypadków przy pracy.

W artykule [B1] zbadałem, czy istnieje zależność między liczbą wypadków przy pracy w budownictwie a parametrami czasowymi, takimi jak: godzina wypadku, dzień tygodnia i miesiąc, w którym doszło do wypadku. W artykule określiłem również występujące zależności między wiekiem poszkodowanego, doświadczeniem zawodowym oraz liczbą godzin przepracowanych przez poszkodowanego od momentu rozpoczęcia pracy do momentu wypadku. Do określenia korelacji pomiędzy badanymi parametrami wykorzystałem analizę korelacji, a do opisu zależności między ocenianymi parametrami wykorzystałem współczynnik korelacji rang Spearmana.

W artykule przedstawiłem wyniki analizy statystycznej dotyczącej 630 wypadków przy pracy, które miały miejsce w Polsce w wybranych województwach w latach 2008-2017, w tym 222 wypadków śmiertelnych (co stanowiło 35,24% wszystkich wypadków) oraz 408 wypadków ciężkich (co stanowiło 64,76% wszystkich wypadków). Badania przeprowadziłem na rozbudowanej bazie danych (baza danych wykorzystana w rozprawie doktorskiej zawierała informację o 461 wypadkach przy pracy). W badaniu otrzymałem silną korelację między czasem wypadku a liczbą przepracowanych godzin, a także średnią korelację między wiekiem poszkodowanego a doświadczeniem zawodowym. W wyniku przeprowadzonych badań wykazałem m.in. że:

- prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku jest największe w pierwszym roku pracy,
- najczęstszą grupą wiekową poszkodowanych pracowników są osoby w wieku 20-29 lat.

Na podstawie uzyskanych wyników badań określiłem rekomendacje dla pracodawców skierowanych do pracowników z zerowym lub niewielkim stażem pracy, tj. do 1 roku pracy.

Pierwotnie moje badania prowadziłem na zgromadzonym zbiorze danych w Informatycznej Bazie Danych dla wszystkich typów i rodzajów wypadków przy pracy w budownictwie. Na podstawie prowadzonych analiz i otrzymanych wyników badań w artykułach [B2] i [B3] wykazałem, że największe prawdopodobieństwo wystąpienia wypadku przy pracy występuje dla prac na wysokości, w szczególności na rusztowaniach budowlanych, dlatego w kolejnych badaniach zająłem się szczegółowo analizą tego stanowiska pracy.

I tak w artykułach [B4] i [B5] dokonałem ilościowej oceny stanu bezpieczeństwa pracy na stanowiskach, w których wykorzystuje się rusztowania budowlane, za pomocą zaproponowanych autorskich współczynników możliwości zaistnienia wypadku przy pracy. W badaniach analizowałem 10 parametrów, które podzieliłem na trzy grupy czynników powodujących wypadki na rusztowaniach budowlanych, a mianowicie: czynniki techniczne, organizacyjne i ludzkie. Do oceny stanu bezpieczeństwa pracy na

rusztowaniach zaproponowałem cząstkowe współczynniki możliwości zaistnienia sytuacji niebezpiecznej oraz ogólny współczynnik zagrożenia. Zaproponowane współczynniki określiłem na podstawie danych zgromadzonych w 219 protokołach kontroli powypadkowych z wypadków przy pracy w budownictwie z udziałem rusztowań budowlanych, do których doszło na terenie 5 polskich województw w latach 2008–2017 oraz na podstawie uzyskanych wyników badań na 120 rusztowaniach budowlanych, przeprowadzonych w latach 2016–2018 w ramach projektu „*Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych*”.

Otrzymane wyniki badań pozwoliły na opracowanie formularza oceny bezpieczeństwa rusztowania budowlanego wykorzystującego zaproponowane cząstkowe współczynniki zagrożenia, pozwalającego na wstępną ocenę prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzenia wypadkowego na rusztowaniach budowlanych. Opracowany formularz oceny stanu zagrożenia pracą na rusztowaniach może stanowić wsparcie dla osób kierujących pracami na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań, np. kierowników budowy, inżynierów budowy, kierowników robót.

Dalsze badania dotyczyły szczegółowej analizy przyczyn wypadków przy pracy na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych. Analiza przyczyn wypadków przy pracy wykazała, że jedną z istotnych przyczyn wypadków przy pracy na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych stanowi przyczyna wypadku kwalifikowana przez inspektorów pracy w protokołach kontroli powypadkowych jako: „*stan psychofizyczny pracownika, niezapewniający bezpiecznego wykonywania pracy spowodowany spożyciem alkoholu, środków odurzających lub substancji psychotropowych*”. I tak w artykułach [B6] i [B7] wykazałem, że spożycie alkoholu może być przyczyną wypadku, a w konsekwencji śmierci (w zależności od rodzaju wypadku lub dolegliwości fizycznych) na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych. Dla 38 wypadków przy pracy, spośród 219 zgłoszeń, inspektorzy pracy wskazali alkohol jako czynnik przyczyniający się do wypadku.

Na podstawie analizy protokołów kontroli powypadkowej oraz wyników badań ankietowych wykazałem, że spożywanie alkoholu jest zauważalnym problemem branży budowlanej, a także, że:

- wraz ze wzrostem ilości alkoholu we krwi wzrasta ciężkość wypadku (wysoka zawartość alkoholu przyczynia się do śmierci pracownika budowlanego),
- odsetek osób spożywających alkohol wzrasta wraz z wiekiem.

Aby poprawić bezpieczeństwo pracowników w miejscu pracy i zlikwidować problem nietrzeźwych pracowników, w tym pracowników budowlanych, zaproponowałem rozwiązanie tego problemu. Zarekomendowałem wprowadzenie zmian w obowiązujących regulacjach prawnych i umożliwienie/zezwoleń pracodawcom na przeprowadzanie kontroli trzeźwości wśród pracowników. Obecnie, dzięki nowelizacji Ustawy Kodeks pracy [Ustawa z dnia 01 grudnia 2022 r. o zmianie ustawy – Kodeks pracy oraz niektórych innych ustaw] zaproponowane rozwiązanie jest już dopuszczalne („Art. 22. §3. *Kontrola trzeźwości może być przeprowadzona przez pracodawcę*”).

Aby poprawić bezpieczeństwo pracy na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych istotne było również określenie najbardziej prawdopodobnych scenariuszy wypadkowych. Dlatego celem artykułu [B8] było opracowanie oryginalnego modelu, który pozwoli na identyfikację najczęściej powtarzających się scenariuszy wypadkowych. W ramach prowadzonych badań opracowałem Informatyczną Bazę Danych

o wypadkach przy pracy z udziałem rusztowań, a następnie opracowałem oryginalny graficzno-matematyczno-informatyczny model umożliwiający zidentyfikowanie najczęściej powtarzających się scenariuszy wypadkowych. Do modelowania zjawiska wypadkowości zastosowałem innowacyjną metodę opartą na analizie grafowej.

Uważam, że zaproponowany model ma duże znaczenie dla praktyki budowlanej. Na podstawie dużego zbioru danych dotyczących wypadków z udziałem rusztowań zbadałem wpływ technologii, które są wykorzystywane w branży budowlanej oraz rodzajów obiektów budowlanych i wykorzystywanych urządzeń (w tym rusztowań budowlanych) na wskaźnik wypadkowości. Uzyskane wartości mogą służyć jako baza danych do szacowania ryzyka zawodowego związanego z pracą na rusztowaniach. Ponadto znajomość okoliczności wypadków przy pracy z udziałem rusztowań budowlanych pozwala na właściwe sformułowanie i/lub modyfikację prawa pracy, a także odpowiednie ukierunkowanie działań prewencyjnych i szkoleń z zakresu bezpieczeństwa pracy. Praktyczne zastosowanie wyników badań pozwala na zmniejszenie liczby wypadków, m.in. poprzez zaostrenie przepisów dotyczących montażu, użytkowania i demontażu rusztowań, a także znacząco przyczynia się do podniesienia poziomu bezpieczeństwa pracy w branży budowlanej.

Przedstawione powyżej rezultaty badań prezentowałem na kilkunastu konferencjach naukowych i naukowo-technicznych.

Za najważniejsze osiągnięcia naukowe przedstawione w ramach **pierwszego dodatkowego osiągnięcia naukowego** uważam:

- 1. Określenie profilu zawodowego osób najczęściej poszkodowanych w wypadkach przy pracy w polskim budownictwie.**
- 2. Opracowanie oryginalnej ilościowej metody oceny stanu zagrożenia pracą na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych. Do oceny stanu zagrożenia zastosowałem 10 parametrów, które charakteryzują czynniki techniczne, organizacyjne i ludzkie.**
- 3. Zbadanie wpływu przyczyny wypadków przy pracy, wynikającej ze stanu psychofizycznego pracownika niezapewniającego bezpiecznego wykonywania pracy spowodowanej spożyciem alkoholu, na wypadkowość na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych.**
- 4. Wykazanie, że wraz ze wzrostem ilości alkoholu we krwi wzrasta ciężkość wypadku (wysoka zawartość alkoholu przyczynia się do śmierci pracownika budowlanego).**
- 5. Zarekomendowanie do praktyki możliwości przeprowadzania kontroli trzeźwości pracowników.**
- 6. Opracowanie oryginalnego modelu graficzno-matematyczno-informatycznego dla wypadków przy pracy z udziałem rusztowań budowlanych.**
- 7. Określenie najbardziej prawdopodobnego scenariusza wypadków na stanowiskach pracy z udziałem rusztowań budowlanych.**

### 5.2.2 Osiągnięcie III: Zastosowanie innowacyjnych technologii w budownictwie

Poniżej wyszczególniłem, z podaniem danych bibliograficznych, najistotniejsze artykuły w ramach osiągnięcia III pt. „Zastosowanie innowacyjnych technologii w budownictwie”.

- [C1] Szóstak M.<sup>☒</sup> Nowobilski T., Zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych w budownictwie. *Przegląd Komunikacyjny*. 2022, nr 2/3, s. 26-31.  
**Punktacja MEiN z 2021-2022: 40 pkt.**
- [C2] Szóstak M.<sup>☒</sup> Nowobilski T., Bezzałogowe statki powietrzne w budownictwie - protokół bezpiecznego przygotowania i lotu dronem. *Przegląd Budowlany*. 2022, nr 9/10, s. 117-120.  
**Punktacja MEiN z 2021-2022: 40 pkt.**
- [C3] Szóstak M.<sup>☒</sup> Nowobilski T. Mahamadu A-M. Caparrós-Pérez D., Unmanned aerial vehicles in the construction industry - towards a protocol for safe preparation and flight of drones. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*. 2023, vol. 11, nr 2, s. 296-316. <https://doi.org/10.1108/IJIUS-05-2022-0063>  
**Punktacja MEiN z 2023: 70 pkt.** **Impact Factor (2022): 1.000**
- [C4] Szóstak M.<sup>☒</sup> Napiórkowski M., Analiza możliwości zastosowania wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach BHP w budownictwie. *Przegląd Budowlany*. 2022, nr 9/10, s. 138-140.  
**Punktacja MEiN z 2021-2022: 40 pkt.**
- [C5] Szóstak M.<sup>☒</sup> Napiórkowski M., Wirtualna rzeczywistość w szkoleniach BHP w budownictwie - obawy i oczekiwania. *Builder*. 2023, nr 3, s. 16-19.  
<https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2680>  
**Punktacja MEiN z 2023: 70 pkt.**
- [C6] Szóstak M.<sup>☒</sup> Napiórkowski M., Możliwość wykorzystania wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach BHP jako element cyklu Kolba – aktualny stan wiedzy. *Przegląd Budowlany*. 2023, 9-10, s. 122-125. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9376>  
**Punktacja MEiN z 2023: 70 pkt.**
- [C7] Szóstak M.<sup>☒</sup> Hoła B. Nowobilski T. Grzempowski P., Wirtualne środowisko szkoleniowe dla zrobotyzowanych i zautomatyzowanych terenów budowy. *Przegląd Budowlany*. 2023, 9-10, s. 167-170. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.9393>  
**Punktacja MEiN z 2023: 70 pkt.**

W tabeli 7 wykazałem najistotniejsze artykuły związane z osiągnięciem, natomiast pozostałe artykuły wyszczególniłem w Załączniku nr 4. Wykaz osiągnięć, w pkt. 2.4. d).

Tabela 7. Zestawienie parametrów naukometrycznych artykułów w ramach **osiągnięcia III**

Oznac.	Czasopismo	Rok opublikowania	Jedyny autor	Autor korespondencyjny	IF w roku opublikowania	Punktacja MEiN
[C1]	<i>Przegląd Komunikacyjny</i>	2022	-	x	-	40
[C2]	<i>Przegląd Budowlany</i>	2022	-	x	-	40
[C3]	<i>International Journal of Intelligent Unmanned Systems</i>	2023	-	x	1.000	70
[C4]	<i>Przegląd Budowlany</i>	2022	-	x	-	40
[C5]	<i>Builder</i>	2023	-	x	-	70
[C6]	<i>Przegląd Budowlany</i>	2023	-	x	-	70
[C7]	<i>Przegląd Budowlany</i>	2023	-	x	-	70
<i>Sumaryczny IF publikacji w cyklu</i>					<b>1.000</b>	
<i>Średni IF na publikację z IF</i>					<b>1.000</b>	
<i>Całkowita suma punktów MEiN nie podzielona na liczbę autorów</i>						<b>400</b>
<i>Suma punktów MEiN przypadająca na wnioskodawcę</i>						<b>145</b>

Żyjemy w czasach, w których postęp technologiczny przebiega znacznie szybciej niż kiedykolwiek wcześniej. Postęp technologiczny zmienia sposób w jakim postrzegamy otaczający nas świat i wytwarzamy przedmioty codziennego użytku.

Innowacyjne technologie w budownictwie, w obszarze zainteresowania inżynierii przedsięwzięć budowlanych, to robotyzacja, automatyzacja i cyfryzacja branży budowlanej, dzięki zastosowaniu m.in. technologii BIM, wirtualnej rzeczywistości oraz bezzałogowych statków powietrznych. W moich badaniach skupiłem się nad zastosowaniem bezzałogowych statków powietrznych oraz wirtualnej rzeczywistości w budownictwie. Osiągnięcia w tym obszarze są wynikiem prowadzonych przeze mnie badań własnych oraz kierowania projektem badawczym „*Virtual reality immersive safety training environment for robotised and automated construction sites*” (SafeCROBOT).

W pracach poświęconych tematyce bezzałogowych statków powietrznych, m.in. w artykule [C1], omówiłem spektrum możliwości zastosowania tego urządzenia w budownictwie. Obecnie bezzałogowe statki powietrzne mają zastosowanie m.in. do: kontroli obiektów budowlanych do których dostęp jest utrudniony, oceny stanu technicznego konstrukcji i ich elementów, monitorowania postępów prac budowlanych, termowizyjnych badań obiektów budowlanych, a także pozyskiwania obrazów do wyznaczania geometrii 3D obiektów przestrzennych, określania wymiarów przestrzennych, opracowywania ortofotomap i inwentaryzacji obiektów budowlanych.

Wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w budownictwie podnosi stopień bezpieczeństwa na budowie, jednak należy pamiętać, że stosowanie ich stwarza również dotychczas niewystępujące na placu budowy nowe zagrożenia. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury zauważyłem, że mimo, że istnieją badania wskazujące na korzyści z zastosowania bezzałogowych statków powietrznych, to brakuje badań analizujących wpływ pracy z lub w pobliżu bezzałogowych statków powietrznych na zdrowie i bezpieczeństwo pracowników, a także nie ma opracowanych wytycznych,

procedur postępowania (protokołu) dla poprawnego, bezpiecznego przygotowania i zaplanowania lotu bezzałogowych statkiem powietrznym na potrzeby operacji przeprowadzonej w budownictwie, zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi. Dlatego w artykułach [C2] oraz [C3], na podstawie analizy instrukcji obsługi wybranych bezzałogowych statków powietrznych oraz obowiązujących przepisów prawnych, a także wiedzy i doświadczenia, opracowałem algorytm bezpiecznego postępowania w przypadku prowadzenia operacji lotniczej z wykorzystaniem bezzałogowego statku powietrznego na potrzeby budownictwa. Opracowany algorytm uwzględnia wszystkie fazy związane z użytkowaniem urządzenia, począwszy od fazy planowania, poprzez etap wykonywania operacji lotniczej, a skończywszy na elementach związanych z zakończeniem operacji lotniczej.

Zaproponowany algorytm bezpiecznego przygotowania i lotu bezzałogowym statkiem powietrznym stanowił jedno z kluczowych zadań podczas realizacji projektu badawczego o akronimie SafeCROBOT. Celem realizowanego projektu badawczego było opracowanie innowacyjnego, angażującego i interaktywnego środowiska szkoleniowego opartego na technologii wirtualnej rzeczywistości, które pozwoli na przekazywanie pracownikom budowlanym niezbędnych umiejętności i wiedzy w zakresie interakcji z zautomatyzowanymi i zrobotyzowanymi maszynami budowlanymi. Kierowany przeze mnie zespół z Politechniki Wrocławskiej był odpowiedzialny m.in. za opracowanie 4 (z 10) scenariuszy szkoleniowych związanych z pracą z bezzałogowym statkiem powietrznym.

Na podstawie przeprowadzonych badań, w tym badań ankietowych, których wyniki opublikowałem m.in. w artykułach [C4] i [C5], zauważyłem, że stosowane obecnie metody szkoleń, polegające na uświadamianiu oraz poszerzaniu wiedzy pracowników w oparciu tylko o wykłady czy seminaria przestają być wystarczające i ciekawe dla ich uczestników. Szczególnie zauważalne jest to w przypadku młodszych inżynierów, pracowników z tzw. pokolenia „Z” (osób urodzonych po 1995 roku, do roku 2012, obecnie wkraczających na rynek pracy, dorastających w pełni scyfryzowanym społeczeństwie), których oczekiwania odnośnie formy przekazywania wiedzy są coraz wyższe. Osoby te mają potrzebę bycia zaangażowanym w proces nauki i nie chcą być tylko pasywnymi słuchaczami. Zaobserwowałem, że do pracowników pokolenia „Z” trzeba dotrzeć dostosowując metody prowadzenia szkoleń z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, poprzez wprowadzenie innowacyjnych form kształcenia. Spełnienie powyższych wymagań i ograniczeń możliwe jest dzięki zastosowaniu wirtualnej rzeczywistości i symulacji komputerowych. Dzięki wirtualnej rzeczywistości dostajemy nieograniczone możliwości cyfrowego odtworzenia praktycznie każdych warunków pracy, w tym również tych na terenie budowy. Osoby biorące udział w szkoleniach z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości przenoszą się do wirtualnego środowiska pracy, w którym poznają konkretne procesy, działania, uczą się nowych rzeczy, w bezpieczny sposób mogą poznać specyfikę określonej pracy, poznać zagrożenia związane z pracą na danym stanowisku pracy, dlatego szkolenia z wykorzystaniem tej technologii są maksymalnie immersyjne, a także skuteczne.

Na podstawie przeprowadzonych przeze mnie badań, których wyniki opublikowałem m.in. w artykułach [C4] i [C5] udowodniłem, że zastosowanie wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach BHP to:

- większe zaangażowanie uczestnika szkolenia – w porównaniu do tradycyjnych wykładów i/lub ćwiczeń,
- uczenie poznawcze i behawioralne w jednym – możliwość sprawdzenia wiedzy teoretycznej i umiejętności w praktyce, w realistycznych sytuacjach,

- bezpieczeństwo – możliwość symulowania niebezpiecznych środowisk i sytuacji bez zagrożenia dla życia i zdrowia uczestnika szkolenia.

W artykule [C6] przedstawiłem jak wykorzystanie technologii wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach BHP wpisuje się w model uczenia się przez doświadczenie osób dorosłych, tj. cykl Kolba, który bazuje na doświadczeniu, refleksji, teorii i praktyce. Mechanizm uczenia osób dorosłych jest inny niż u dzieci i polega na przekazywaniu wiedzy przez jej praktyczne zastosowanie, doświadczenie oraz refleksję nad nim, co prowadzi do głębszego zrozumienia i umiejętności wykorzystania zdobytej wiedzy w praktyce. Oznacza to, że osoba dorosła rozwija swoją wiedzę i umiejętności poprzez autonomiczne działania, oparte na wcześniejszym doświadczeniu i dokładnej refleksji nad podejmowanymi aktywnościami. Model uczenia się przez doświadczenie, cykl Kolba, składa się z 4 etapów i zakłada, że:

- wiedzę zdobywa się poprzez praktykę i doświadczenie: doznawanie, działanie, przeżywanie, oglądanie, słuchanie, działanie (etap: doświadczenie),
- pewne konkretne doświadczenie skłania do rozumnej obserwacji: refleksja, odtwarzanie przeżyć, rozważanie za i przeciw, myślenie o działaniu (etap: refleksja),
- refleksja powoduje tworzenie abstrakcyjnych reguł generalizujących, służących nie do tyle do opisanie danego konkretnego zdarzenia, ale wszystkim jemu podobnych: teoria, wniosek, poznanie zasad, nadanie znaczenia refleksji (etap: teoria);
- powstała wiedza jest weryfikowana przez aktywne eksperymenty, czyli następuje sprawdzenie nowego pomysłu w praktyce, co prowadzi do powstania nowych doświadczeń: praktyka, testowanie nowego rozwiązania, zastosowanie, podejmowanie ryzyka (etap: praktyka);

Z uwagi na konwencjonalne metody prowadzenia szkoleń z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy, takie jak wykłady i seminaria, stosowanie cyklu Kolba jest ograniczone. Podczas wykładów uczestnicy szkolenia nie mają możliwości bezpośredniego doświadczenia różnych niebezpiecznych sytuacji czy zdarzeń potencjalnie wypadkowych (etap 1: doświadczenie), co uniemożliwia im dokonanie refleksji nad nimi (etap 2: refleksja), zapoznanie się z teoretycznymi aspektami działania (etap 3: teoria) oraz przyswojenie praktycznej wiedzy, którą mogliby wykorzystać w przyszłości (etap 4: praktyka).

Dzięki zastosowaniu wirtualnej rzeczywistości do szkoleń, pracownik ma możliwość realistycznego, chociaż wirtualnego, doświadczenia i zrozumienia konsekwencji związanych z nieprawidłowym zachowaniem się w miejscu pracy. Wirtualne środowisko pozwala na dokładne obserwowanie, odczuwanie i "przeżywanie" różnych scenariuszy oraz sytuacji wypadkowych, dając wgląd w potencjalne skutki takiego zachowania. Daje to możliwość refleksji i rozpoczęcia nauki przez doświadczenie, co podczas szkoleń w formie tradycyjnej nie jest możliwe.

Dzięki immersji, tj. zanurzeniu w wirtualnym świecie, realizmowi symulacji oraz braku tzw. dystraktorów, czyli czynników rozpraszających uwagę, szkolenia w wirtualnej rzeczywistości są wysoce skuteczne i pozwalają skrócić czas nauczania, jednak brak jest badań ilościowych pozwalających na potwierdzenie tego stwierdzenia. Dlatego w ramach prowadzonych badań, opracowałem autorską metodykę badań pozwalającą ocenić wpływ stosowania technologii wirtualnej rzeczywistości do celów szkolenia w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy. Wyniki z przeprowadzonych wśród studentów kierunku

budownictwo oraz bezpieczeństwo i higiena pracy Politechniki Wrocławskiej badań opublikowałem w artykule [C7]. Badania przeprowadziłem z udziałem dwóch grup:

- grupa „0” - kontrolna, którą poddałem szkoleniu w tradycyjnej formie, tj. instruktażu, w zakresie omówienia: zasad poruszania się na terenie budowy, zagrożeń dla zdrowia występujących na terenie budowy – w formie wykładu,
- grupa „1” – eksperymentalna, którą poddałem szkoleniu w innowacyjnej formie, tj. instruktażu, w zakresie omówienia: zasad poruszania się na terenie budowy, zagrożeń dla zdrowia występujących na terenie budowy – przy wykorzystaniu wirtualnego środowiska szkoleniowego – opracowanego systemu szkoleniowego.

Dzięki przeprowadzonym badaniom w dwóch niezależnych grupach udowodniłem, że wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości w naturalny sposób zwiększa efektywność szkoleń pracowników, podnosi efekty uczenia się i zapewnia realistyczne doświadczenia uczestników szkoleń. Na podstawie otrzymanych wyników badań potwierdziłem ilościową przewagę szkoleń w wirtualnej rzeczywistości względem tradycyjnych metod. Interaktywna i nowoczesna forma sprawia, że wirtualny trening od tradycyjnego szkolenia jest dla użytkowników bardziej atrakcyjny.

Za najważniejsze osiągnięcia naukowe przedstawione w ramach **drugiego dodatkowego osiągnięcia naukowego** uważam:

- 1. Opracowanie algorytmu/procedury bezpiecznego przygotowania i lotu bezzałogowym statkiem powietrznym w budownictwie.**
- 2. Opracowanie oryginalnej metodyki badań pozwalającej ocenić wpływ zastosowania technologii wirtualnej rzeczywistości do celów szkolenia w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy na proces uczenia się.**
- 3. Udowodnienie, że zastosowanie wirtualnej rzeczywistości do szkoleń z zakresu bezpieczeństwa i higieny pracy w budownictwie zwiększa zaangażowanie osób szkolonych, doskonali umiejętności praktycznej i podnosi efekty uczenia się.**
- 4. Wykazanie, że zastosowanie wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach pozwala poprawić wskaźnik zapamiętywalności względem tradycyjnych metod szkoleń.**

### 5.3 Pozostały dorobek naukowy

Poza opisanymi osiągnięciami naukowymi w swoim dorobku posiadam także prace, które dotyczyły zagadnień nie związanych bezpośrednio z przedstawionymi osiągnięciami naukowymi. Wszystkie te prace zestawiłem w Załączniku nr 4. Wykaz osiągnięć.



## 6 Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

Mogę wykazać się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni, a w szczególności:

1. **Politechnika Lubelska**, Wydział Budownictwa i Architektury (Polska),
2. **Politechnika Łódzka**, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska (Polska),
3. **University of West of England** (Wielka Brytania),
4. **Bildungszentren des Baugewerbes e.V. (BZB)** (Niemcy),
5. **Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales** (Hiszpania),
6. **University of Antwerp** (Belgia),
7. **GSFC University** (Indie),
8. **International College of Engineering and Management** (Oman).

Z **Politechniką Lubelską** i **Politechniką Łódzką** współpracowałem w latach 2016 – 2018 jako wykonawca projektu badawczego pt. „*Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych*” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w ramach Programu Badań Stosowanych PBS3 (PBS3/A2/19/2015).

Współpraca obejmowała uczestnictwo w spotkaniach, konferencjach i wizytach naukowych odbywających się na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej, a także kontakty z realizującymi projekt badawczy pracownikami naukowymi, m.in. prof. dr hab. inż. Ewą Błazik-Borową (PL), dr hab. inż. Krzysztofem Czarnockim (PL), dr hab. inż. Jackiem Szerem (PŁ). Efektem współpracy i realizowanego projektu jest opracowanie modelu oceny ryzyka wystąpienia sytuacji potencjalnie wypadkowej na rusztowaniach budowlanych. Wymiernym efektem tej współpracy jest współautorstwo:

- 3 raportów z badań,
- 8 artykułów naukowych,
- 4 wystąpień na zagranicznych konferencjach naukowych.

Z **University of West of England** (Wielka Brytania), **Bildungszentren des Baugewerbes e.V. (BZB)** (Niemcy) oraz **Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales** (Hiszpania) współpracuję od 2018 r. Do współpracy zostałem zaproszony przez dr hab. inż. Pawła Bogusławskiego (pracownika Wydziału Górniczego, Geologii i Geoinżynierii Politechniki Wrocławskiej, obecnie pracownika Instytutu Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu) i zostałem włączony do zespołu pracującego nad przygotowaniem wniosku składanego w ramach programu Erasmus+ o nazwie: *SafeCROBOT-VR – A virtual reality (VR) immersive safety training environment for robotised and automated construction sites*. W 2020 roku projekt został zaakceptowany do finansowania. W latach 2020 – 2022 pełniłem rolę kierownika projektu zespołu Politechniki Wrocławskiej pt. „*SafeCROBOT: Virtual reality immersive safety training environment for robotised and automated construction sites*” finansowanego przez Erasmus+ (2020-1-UK01-KA202-079176).

Współpraca w ramach projektu obejmowała m.in. uczestnictwo w spotkaniach, seminariach i wizytach naukowych odbywających się u partnerów projektu, a także kontakty z realizującymi projekt pracownikami naukowymi, m.in. prof. Lamine Mahdjoubi

(UWE), dr Abdul-Majeed Mahamadu (UWE/ UCL), dr Abhinesh Prabhakaran (UWE), dr David Caparrós Pérez (CTM). Efektem współpracy i realizowanego projektu jest opracowane innowacyjne środowisko szkoleniowe wykorzystujące wirtualną rzeczywistość, symulację 3D rzeczywistych scenariuszy oraz technologię BIM dla zautomatyzowanych i zrobotyzowanych placów budów. Wymiernym efektem tej współpracy jest autorstwo lub współautorstwo:

- 8 artykułów naukowych,
- 4 wystąpień na konferencjach naukowych,
- udział w seminarium naukowym w University of West of England, (Wielka Brytania), pt. „*Safety Implications of the Adoption of Robotics and Autonomous Systems in Construction and Infrastructure*”, odbywającym się 11.11.2022 r. podczas, którego wygłosiłem prezentację pt. “*SafeCROBOT Project: VR safety training demonstration*”.

Po zakończeniu projektu współpraca jest nadal kontynuowana, czego efektem są kolejne artykuły, które zostały opublikowane po zakończeniu projektu, tj. po 2022 roku oraz dalsze plany badawcze, projektowe i publikacyjne.

Od 2020 r. współpracuję z dr Subbiah Ajith pracującym w **GSFC University, Department of Fire & Environment, Health, Safety Engineering** (Indie) oraz **International College of Engineering and Management** (Oman). Celem nawiązanej współpracy jest prowadzenie badań skupiających się na poprawie bezpieczeństwa pracy wśród pracowników budowlanych i opracowaniu metody ilościowej oceny ryzyka zawodowego z wykorzystaniem algorytmów uczenia maszynowego. Wymiernym efektem tej współpracy jest współautorstwo 1 artykułu naukowego (obecnie prowadzę wspólne badania, których efektem będą kolejne, planowane prace naukowe) oraz wygłoszenie wykładu na zaproszenie i przeprowadzenie warsztatów pt. *Recent research in construction site safety*, 24.11.2022 (online).

Z **University of Antwerp** (Belgia) współpracuję od 2021 roku. Do współpracy zostałem zaproszony przez Sofie Krol oraz prof. Wim Van den bergh (pracowników University of Antwerp). Nawiązana współpraca zaowocowała udziałem w programie Erasmus+ Blended Intensive Program (BIP), pt. „*Sustainable and resilient infrastructure and buildings*”.

Program BIP finansowany był w ramach programu Erasmus+ w ramach współpracy międzynarodowej sieci Euclides następujących Uczelni: University of Antwerp (UAntwerp), University of Girona (UdG), Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), University of Minho (UMinho), University of the Basque Country (UPV/EHU), Aristotle University of Thessaloniki (AUPH), Polytechnic University of Madrid (UPM), Wrocław University of Science and Technology (PWR), Manipal Academy of Higher Education, India. Program realizowany był w okresie: 01.02.2022 – 30.04.2022. W trakcie programu nawiązałem współpracę z realizującymi projekt pracownikami naukowymi, m.in. prof. Wim Van den bergh (UAntwerp), prof. Maria Luisa Garcia-romeu de Luna (UdG), prof. Eduarda Pinto Ferreira (ISEP), prof. Jose Manuel Souza (ISEP), prof. Elisabete Fraga Freitas (UMinho), prof. Vanessa Garcia (UPV/EHU), prof. Evangelos Manthos (AUPH), prof. Manuel Romana (UPM), prof. B Raghavendra K Holla (Manipal).

Głównym celem współpracy była organizacja i nadzór nad projektami studenckimi, prowadzenie wykładów (w ramach mobilności dydaktycznej), a także wzmocnienie współpracy między Politechniką Wrocławską, a Uniwersytetem w Antwerpii w zakresie: rozwoju badań (wspólne prowadzenie projektów badawczych), wymiany specjalistycznej wiedzy, a także wzmocnienia relacji akademickich i naukowych. W okresie 12-19.03.2022 odbyłem tygodniowy pobyt na Uniwersytecie w Antwerpii.

Dzięki udziałowi w programie BIP, w 2022 r. nawiązałem bliską współpracę z dr S. Anandh z **SRM Institute of Science and Technology, SRM Nagar** (Indie). Celem nawiązanej współpracy jest prowadzenie badań skupiających się na poprawie bezpieczeństwa pracy wśród pracowników budowlanych ze szczególnym uwzględnieniem czynnika ludzkiego. Efektem tej współpracy jest współautorstwo 3 artykułów naukowych. Obecnie prowadzę wspólne badania, których efektem będą kolejne, planowane prace naukowe.

## **7 Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę**

### **7.1 Osiągnięcia dydaktyczne**

Jako nauczyciel akademicki prowadziłem i/lub prowadzę następujące zajęcia (kursy i przedmioty) na studiach I i II stopnia, kierunku: budownictwo, na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej:

- Rysunek techniczny – Projekt,
- Organizacja produkcji budowlanej i kierowanie procesami inwestycyjnymi – Wykład, Ćwiczenia,
- Technologia robót budowlanych – Projekt,
- Ekonomia budownictwa – Laboratorium,
- Zagadnienia bezpieczeństwa pracy – Seminarium, Wykład,
- Praca dyplomowa inżynierska,
- Organizacja robót budowlanych 1 – Projekt, Wykład,
- Modele i metody organizacji robót budowlanych – Projekt, Wykład,
- Organizacja i zarządzanie w budownictwie – Wykład,
- Podstawy technologii BIM – Laboratorium,
- Zarządzanie przedsięwzięciami budowlanymi – Ćwiczenia, Seminarium,
- Praca dyplomowa magisterska,

oraz na studiach II stopnia, kierunku: bezpieczeństwo i higiena pracy, na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej:

- Podstawy budownictwa – Wykład,
- Zagrożenia w środowisku pracy – Projekt, Wykład,
- Wymagania BHP na stanowiska pracy – Projekt, Wykład,
- Podstawy bezpieczeństwa obiektów budowlanych i pomieszczeń – Ćwiczenia, Wykład,
- Praca dyplomowa magisterska.

Poziom merytoryczny i aktualność przekazywanej wiedzy są wynikiem mojego przygotowania teoretycznego, a także wynika z praktyki zawodowej. Pracuję jako bankowy

inspektor nadzoru oraz inspektor ds. bezpieczeństwa i higieny, co pozwala na stałe podnoszenie jakości przekazywania wiedzy poprzez łączenie praktyki z teorią.

Wiedza przekazywana Studentom, w każdym roku akademickim, jest stale aktualizowana poprzez modyfikację/aktualizację treści i formy prowadzonych zajęć, m.in. poprzez autorskie analizy przypadków (zaczepnięte z praktyki), uczestnictwo w krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych. Do prowadzonych zajęć opracowałem autorskie materiały dydaktyczne, które udostępniam studentom w trakcie zajęć (w formie elektronicznej).

Jestem autorem/współautorem następujących kart przedmiotów:

- Organizacja produkcji budowlanej i kierowanie procesami inwestycyjnymi (studia I stopnia),
- Organizacja i zarządzanie w budownictwie (studia II stopnia, specjalność: Inżynieria Budowlana i Modelowanie),
- Podstawy technologii BIM (studia II stopnia, specjalność: Inżynieria Budowlana i Modelowanie).

Jestem współautorem i redaktorem podręcznika *BIM dla projektanta: podstawy modelowania w Autodesk Revit : poziom I*. Podręcznik został opracowany i dostosowany do aktualnie obowiązującego programu nauczania na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, kierunku budownictwo. Zakres opracowania jest skierowany do studentów studiów I stopnia realizujących na semestrze 3 zajęcia projektowe z przedmiotu Budownictwo ogólne 1 oraz dla studentów studiów II stopnia o specjalności inżynieria budowlana i modelowanie (BIM) realizujących w semestrze 1 zajęcia projektowe z przedmiotu Podstawy technologii BIM. Celem opracowania było omówienie podstaw modelowania głównych elementów konstrukcyjnych budynków w programie *Autodesk Revit*.

Byłem opiekunem/promotorem 45 prac dyplomowych, a w szczególności:

- 13 prac inżynierskich na kierunku budownictwo, specjalność: inżynieria budowlana (IBB), na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej,
- 13 prac magisterskich na kierunku budownictwo, specjalność: budowlano-technologiczna (BTO), na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej,
- 17 prac magisterskich na kierunku budownictwo, specjalność: inżynieria budowlana i modelowanie (BIM), na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej,
- 2 prac magisterskich na kierunku bezpieczeństwo pracy, specjalność: zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy, na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Jestem promotorem pomocniczym w 2 postępowaniach doktorskich w dyscyplinie naukowej: inżynieria lądowa, geodezja i transport na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej:

- mgr inż. Mateusza Napiórkowskiego. Promotorem głównym rozprawy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz,
- mgr inż. Tomasza Stachonia. Promotorem głównym rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Jarosław Konior.

Jestem opiekunem Koła Naukowego Młodzi Menadżerowie Budownictwa, działającego przy Katedrze Budownictwa Ogólnego Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej, zrzeszającego ok. 50 studentów.

Byłem opiekunem 7 studenckich prac konkursowych:

- „Projekt deskowań z wykorzystaniem technologii BIM i biblioteki PERI Library+ do programu Revit”, mgr inż. Mateusza Napiórkowskiego, która otrzymała III nagrodę w konkursie dla „Młodych Inżynierów 2021/2022 Zadanie Inżynierskie” zorganizowanym przez czasopismo Builder,
- „Akademik marzeń” w ramach I edycji konkursu dla młodych architektów i inżynierów budownictwa: „Dwa Oblicza Jedna Przyszłość”, zorganizowanym przez Stowarzyszenie Producentów Betonów, redakcję czasopisma Builder, WSC Witold Szymanik, 2021/2022,
- „Projekt technologii i organizacji robót z wykorzystaniem elementów technologii BIM 5D”, inż. Tomasz Dobras, finalisty w Konkursie dla „Młodych Inżynierów 2022/2023 Zadanie Inżynierskie” organizowanym przez czasopismo Builder,
- „Technologia druku przestrzennego (3D) w architekturze i budownictwie”, mgr inż. Paweł Sobczak, finalisty w Konkursie dla „Młodych Inżynierów 2022/2023 Zadanie Inżynierskie” organizowanym przez czasopismo Builder,
- „Praktyczne zastosowanie bezzałogowego statku powietrznego (drona) w budownictwie”, mgr inż. Natalia Buch, finalistki w Konkursie dla „Młodych Inżynierów 2022/2023 Zadanie Inżynierskie” organizowanym przez czasopismo Builder.
- „Opracowanie rodzin dla wybranych elementów prefabrykowanych w programie Autodesk Revit: płyty stropowe”, mgr inż. Julia Kaziuk, która otrzymała II nagrodę w konkursie na najlepszą pracę dyplomową – Prefabrykacja w budownictwie, organizowanym przez Betard Sp. z o.o. w 2023 r.,
- „Projekt koncepcyjny architektoniczno-inżynierski nowoczesnego centrum technologicznego wraz z kompleksem biurowym, będącym siedzibą Stowarzyszenia Producentów Betonów, na działce w Porcie Żerańskim w Warszawie” w ramach II edycji konkursu dla młodych architektów i inżynierów budownictwa: „Dwa Oblicza Jedna Przyszłość”, zorganizowanym przez Stowarzyszenie Producentów Betonów, redakcję czasopisma Builder, WSC Witold Szymanik, 2023/2024 (w trakcie).

W 2015 r. ukończyłem studia podyplomowe w zakresie: Bezpieczeństwo i Higiena Pracy organizowane przez Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Politechnika Wrocławska (nr świadectwa 64/2015/W6).

W 2015 r. ukończyłem Kurs Dydaktyczny Szkoły Wyższej organizowany przez Studium Nauk Humanistycznych i Społecznych, Politechnika Wroclawska (nr świadectwa 61/KDD/II/2015). Celem kursu jest doskonalenie kompetencji pracowników w zakresie planowania, organizowania i realizowania procesu kształcenia i wychowywania studentów.

Uczestniczyłem w szkoleniach i warsztatach organizowanych w ramach projektu: Politechnika nowych szans, współfinansowanego przez Unię Europejską, Europejski Fundusz Społeczny, Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój:

- *W świecie różnorodnych możliwości* – 22.11.2021 (szkolenie),
- *Wsparcie w kryzysie zdrowia psychicznego* – 01.12.2021 (warsztaty),
- *Wsparcie w kryzysie zdrowia psychicznego* – 22.05.2023 (warsztaty).

Celem szkoleń i warsztatów jest podniesienie kompetencji osób uczestniczących w edukacji na poziomie wyższym w zakresie funkcjonowania osób z niepełnosprawnościami.

Uczestniczyłem w VIII Międzynarodowym Programie Stażu Naukowego: 8th International Scientific Internship Programme “Nobel Laureates: Studying Experience and Professional Achievements for Forming a Successful Personality and Transforming of the World”, organizowanym przez International Historical Biographical Institute (IHBI) w terminie: 04.11 - 30.12.2022 (2 miesiące). Uczestnictwo w stażu możliwe było dzięki uzyskaniu międzynarodowego grantu/stypendium nrIEG/W/22/09/12, w wysokości 3 000 Euro. Efektem odbytego stażu było uzyskanie uprawnień/kwalifikacji: *International Lecturer/Senior Researcher*.

W 2024 r. ukończyłem akredytowane szkolenie *PRINCE2 Foundation* z metodyki zarządzania projektami.

## 7.2 Osiągnięcia organizacyjne

Organizacja konferencji:

- byłem Członkiem Komitetu Organizacyjnego Konferencji Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych, 22-24.06.2016, Wrocław, zasięg: krajowy, organizowanej przez Zakład Technologii i Zarządzania w Budownictwie Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej,
- pełniłem funkcję Przewodniczącego Komitetu Naukowego i Członek Komitetu Organizacyjnego Konferencji Studenckiej „BIMaction”, 11-12.05.2019, Wrocław, zasięg: krajowy, organizowanej przez Zakład Technologii i Zarządzania w Budownictwie Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej,
- byłem sekretarzem naukowym Komitetu Naukowego XVI Konferencji Naukowo-Technicznej REMO 2022, 6-9.12.2022, Wrocław, Szklarska Poręba, zasięg: krajowy, organizowanej przez Katedrę Budownictwa Ogólnego Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej we współpracy Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa Oddziału we Wrocławiu,
- pełniłem funkcję Przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego VII Konferencji Naukowo-Technicznej BUDIN 2023 Aktualne Problemy w Budownictwie

Ogólnym i Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych, 30-31.03.2023, Wrocław, Szklarska Poręba, zasięg: krajowy, organizowanej przez Katedrę Budownictwa Ogólnego Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej,

- byłem współorganizatorem konferencji branży projektowo-budowlanej "BIM Meetup Polska #2", 07-08.03.2024, Wrocław, zasięg: krajowy.

Pełnię następujące funkcje/stanowiska na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej:

- od 2020 r. jestem członkiem i sekretarzem komisji egzaminu dyplomowego na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej.
- od 2020 r. jestem członkiem Wydziałowej Komisji ds. Finansowania Działalności Studenckiej w kadencji 2020-2024. Pełnię tą funkcję jako przedstawiciel opiekunów Kół Naukowych.
- od 2021 r. pełnię funkcję zastępcy Kierownika Katedry Budownictwa Ogólnego Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej.
- od 2021 r. jestem członkiem Rady Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej.

### 7.3 Osiągnięcia popularyzujące naukę

W 2023 r. uczestniczyłem w Dolnośląskim Festiwalu Nauki jako przedstawiciel Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej oraz Akademii Młodych Uczonych i Artystów. Zorganizowałem:

- wykład: *Innowacyjne technologie w budownictwie*,
- warsztat: *Budowa mostu Leonarda da Vinci*.

Od 2022 roku jestem członkiem Akademii Młodych Uczonych i Artystów. Akademia Młodych Uczonych i Artystów (AMUiA) jest pierwszą tego typu Akademią w Polsce i została powołana w 2010 r. AMUiA skupia naukowców i artystów z różnych dziedzin nauki i sztuki wrocławskich uczelni. Akademia działa we współpracy z Wrocławskim Centrum Akademickim oraz miastem Wrocław. Jednym z głównych celów powołania Akademii było stworzenie wybitnym młodym naukowcom we wrocławskim środowisku akademickim miejsca, w którym będą mieli możliwość niezależnego i samodzielnego rozwoju. Wcieleniem idei jedności wiedzy są międzydziedzinowe badania prowadzone przez zespoły badawcze, projekty edukacyjne i popularyzatorskie, których jestem współpomysłodawcą i wykonawcą.

Jestem inicjatorem i koordynatorem międzyuczelnianego projektu „BIM we Wrocławiu”. Nawiązałem współpracę z Katedrą Budownictwa, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu oraz z Dolnośląską Okręgową Izbą Inżynierów Budownictwa. W ramach nawiązanej współpracy organizuję wydarzenia, webinaria, konferencje o technologii BIM. Organizowane wydarzenia skierowane są do studentów studiów inżynierskich i magisterskich, inżynierów budownictwa, geodezji oraz architektów. Dotychczas zorganizowałem lub współorganizowałem następujące wydarzenia:

- webinarium: *Technologia BIM*. Dariusz Kasznia, Maciej Dejer, 06.12.2021,
- webinarium: *Podstawy technologii BIM – abc bimu*. Mariusz Szóstak, 26.01.2022,
- webinarium: *Jak sprawić, aby zarządzanie budową było szybsze, łatwiejsze oraz bezpieczniejsze za pomocą jednego systemu*. Ajour, Łukasz Idzi, Michał Pawliszewski Termin: 09.03.2022,
- webinarium: *Skanowanie 3D w budownictwie i geodezji*. Prelegenci: Lechosław Trznadel, Arkadiusz Pawłowski, 20.04.2022,
- webinarium: *Żelbet, BIM i Allplan*. Karol Janeczko, 18.05.2022,
- webinarium: *Praca w BIM-ie. Strefa dla studenta i absolwenta*. Anna Kiczak, Tomasz Kapuścik, Mateusz Napiórkowski, 21.06.2022,
- webinarium: *Centrum Biologii Stosowanej oraz Innowacyjnych Technologii Produkcji Żywności UPWr - inwestycja zrealizowana z wykorzystaniem BIM na etapie projektowania, realizacji w tym przygotowanie do zarządzania obiektem. BIM 7D - cyfrowy bliźniak w procesie zarządzania obiektem*. Anna Wawrzyniak-Olszak, Ryszard Rotter, Tomasz Musialik, 15.11.2023,
- wykład: *Wyzwania zrównoważonego budownictwa w kontekście wymogów regulacyjnych i nastrojów w branży*. Wioletta Fabrycka, Jacek Boruc, 31.01.2023,
- webinarium: *Czy cyfrowy bliźniak naprawdę jest podobny?* Mateusz Rosa, Rafał Zarzycki, 28.02.2023,
- wykład: *To BIM or not to BIM w konstrukcjach przemysłowych*. Bartłomiej Musik, 28.03.2023,
- wykład i warsztaty dla studentów: *Wyzwania technologii BIM w przedsiębiorstwie Mostostal Warszawa*, Dawid Fedko, 13.04.2023,
- spotkanie BIMmeetup Wrocław #5, *Przychodzi Projektant do producenta*. Monika Marciniak-Krzemińska, Dominik Krzywik, Karolina Błaszczyk, Marcin Chmielewski, Anna Sobczak, Karolina Obuszko, 15.06.2023.

Wielokrotnie, od 2017 r. uczestniczyłem w Dniach Aktywności Studenckiej, organizowanych przez Politechnikę Wrocławską, jako opiekun promując Koło Naukowe Młodzi Menadżerowie Budownictwa oraz Akademicki Chór Politechniki Wrocławskiej, którego w latach 2016-2017 byłem prezesem.

## 8 Inne informacje dotyczące kariery zawodowej

### 8.1 Projekty badawcze

Uczestniczyłem w pracach zespołów badawczych realizujących następujące projekty badawcze:

1. Tytuł projektu: Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych.

Źródło finansowania: Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (PBS3/A2/19/2015).

Okres realizacji: 2016 r. – 2018 r.

Kwota dofinansowania: 5 999 125,00 PLN

Pełniona funkcja: **Wykonawca**



2. Tytuł projektu: Virtual reality immersive safety training environment for robotised and automated construction sites.

Źródło finansowania: Erasmus+ (2020-1-UK01-KA202-079176).

Okres realizacji: 2020 r. – 2022 r.

Kwota dofinansowania: 165 435,00 EUR

Pełniona funkcja: **Kierownik projektu**

Byłem wykonawcą poniższych projektów badawczych finansowanych przez środki wewnętrzne:

1. Tytuł projektu: Informatyczny model zjawiska wypadkowości w budownictwie.

Źródło finansowania: Projekt prowadzony w ramach badań naukowych lub prac rozwojowych zrealizowanych na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich, finansowanych w wewnętrznym trybie konkursowym z funduszy przyznanych w 2016 roku (nr zlecenia: 0402/0196/16).

Okres realizacji: 2016 r. – 2017 r.

Kwota dofinansowania: 8 000,00 PLN

Pełniona funkcja: **Wykonawca**

2. Tytuł projektu: Analiza wypadków przy pracy w budownictwie.

Źródło finansowania: Projekt prowadzony w ramach badań naukowych lub prac rozwojowych zrealizowanych na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej służących rozwojowi młodych naukowców oraz uczestników studiów doktoranckich, finansowanych w wewnętrznym trybie konkursowym z funduszy przyznanych w 2015 roku (nr zlecenia: B50144 (Z0206)).

Okres realizacji: 2015 r. – 2016 r.

Kwota dofinansowania: 9 000,00 PLN

Pełniona funkcja: **Wykonawca**

## 8.2 Szkolenia, kursy, warsztaty

Stale podnoszę swoje kwalifikacje i umiejętności poprzez uczestnictwo w szkoleniach, warsztatach. Poniżej przedstawiono wybrane aktywności:

- udział w kursie Statistica kurs podstawowy, Kraków, 30-31.10.2017,
- udział w kursie *Język angielski z elementami języka technicznego – poziom C1* w ramach projektu Innowacyjna Uczelnia – Innowacyjny nauczyciel, Studium Nauk Humanistycznych i Społecznych Studium języków obcych, Politechnika Wroclawska, Wrocław, 29.01 - 08.02.2018,
- udział w kursie *Advanced Academic English – poziom C1* w ramach projektu Innowacyjna Uczelnia – Innowacyjny nauczyciel, Studium Nauk Humanistycznych i Społecznych Studium języków obcych, Politechnika Wroclawska, Wrocław, 19.02 - 18.06.2018,
- udział w szkoleniu *Metodyka BIM i obszary jej wykorzystania*, online, 13.10.2021, 20.10.2021, 27.10.2021,

- udział w kursach na platformie Nature Masterclasses, m.in.: Part 1: Introducing Collaboration, Part 2: Participating in a Collaboration, Part 3: Leading a Collaboration, Data Analysis: Planning and Preparing, Networking for Researchers, Advancing Your Scientific Presentations, Managing Research Data, Narrative Tools for Researchers, Persuasive Grant Writing, Part 1: Writing a Research Paper, Part 2: Publishing a Research Paper, Part 3: Writing and Publishing a Review Paper, Focus on Peer Review, Data Analysis: Conducting and Troubleshooting., online,
- udział w szkoleniu Academic Writing and Presentation Skills, Atlantic Language School, Galway, Ireland, 10-16.07.2022,
- udział w szkoleniu Możliwości finansowania projektów. Wrocław, 29.11.2022, Sekcja Aplikacji, Monitoringu i Współpracy, Dział Projektów, Politechnika Wrocławska, Wrocław,
- udział w szkoleniu pt. Prawo Budowlane – podstawy, problemy, zmiany, Wrocław, 19.12.2022,
- udział w programie Akademii Językowej Santander Top Skills SJO, online, 13.04 – 27.04.2023,
- udział w akredytowanym szkoleniu z zarządzania projektami *PRINCE2 Foundation*, 29-31.01.2024.

### 8.3 Nagrody, wyróżnienia

Jestem laureatem poniższych krajowych i zagranicznych nagród i wyróżnień:

- pięciokrotnie otrzymałem nagrodę JM Rektora Politechniki Wrocławskiej w uznaniu wyróżniającego wkładu w działalność Uczelni za 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 r.,
- jestem czterokrotnym laureatem programu Politechniki Wrocławskiej: Secundus w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport za rok 2019, 2020, 2021 i 2022. Celem programu jest wyróżnienie 100 młodych naukowców Politechniki Wrocławskiej z najlepszym dorobkiem publikacyjnym osiągniętym w zakończonym roku kalendarzowym,
- jestem finalistą krajowego konkursu Falling Walls, edycja: Wrocław, 26.09.2022 r., Celem konkursu było przedstawienie przez młodych naukowców wyników swoich badań. Prezentacje były oceniane przez 8-osobowe interdyscyplinarne jury biorąc pod uwagę: innowacyjność i wkład pomysłu w rozwiązywanie lokalnych lub globalnych problemów; oryginalność pomysłu; atrakcyjność prezentacji. W finale międzynarodowego krajowego konkursu (edycja Wrocław) wzięło udział 10 uczestników z 4 krajów (Czechy, Filipiny, Polska, Włochy),
- jestem laureatem programu Politechniki Wrocławskiej: Primus (działanie 2) w Dyscyplinie Naukowej Inżynieria Lądowa i Transport za znaczącą aktywność publikacyjną w roku 2021. Celem programu jest premiowanie autorów publikacji istotnie przyczyniających się do wzrostu punktacji ewaluowanych w uczelni dyscyplin naukowych,
- otrzymałem nagrodę czasopisma naukowego: International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH) – IJERPH 2019 Outstanding Reviewer Awards,

- moja rozprawa doktorska Modelowanie rozwoju sytuacji wypadkowej w budownictwie została wyróżniona przez Radę Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego,
- otrzymałem wyróżnienie Dziekana Wydziału Budownictwa Lądowego i Wodnego za działalność na rzecz środowiska doktoranckiego Politechniki Wrocławskiej w latach 2014/2015 oraz 2015/2016.

#### 8.4 Zestawienie wybranych osiągnięć naukowych

Tabela 8 Zestawienie wybranych osiągnięć naukowych

Rodzaj osiągnięcia naukowego	Okres przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora	Okres po uzyskaniu stopnia naukowego doktora	Łącznie
Rozdziały w monografiach naukowych	1	1	2
Członkostwo w redakcjach naukowych monografii	0	2	2
Artykuły w czasopismach naukowych			
• o zasięgu międzynarodowym z IF	1	17	18
• o zasięgu międzynarodowym bez IF	6	4	10
• o zasięgu krajowym	7	26	33
Wystąpienia konferencyjne z referatem			
• międzynarodowe	5	7	12
• krajowe	7	14	21
Referaty konferencyjne opublikowane w materiałach konferencyjnych			
• międzynarodowe	4	8	12
• krajowe	2	0	2
Wykłady na zaproszenie	0	2	2
Udział w komitetach organizacyjnych i naukowych konferencji	1	4	5
Uczestnictwo w pracach zespołów badawczych realizujących projekty finansowane w drodze konkursów	1	2	3
Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych	0	1	1
Członkostwo w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	0	3	3
Recenzje artykułów	0	98	98
Opracowania o charakterze naukowo-badawczym i ekspertyzy	5	4	9

**8.5 Dane naukometryczne**

Tabela 9 Dane naukometryczne (stan na dzień 15.03.2024 r.).

Sumaryczny <i>Impact Factor</i>	<b>60.362</b>
Liczba cytowań	
• baza <i>Web of Science</i>	<b>194 (276)</b>
• baza <i>Scopus</i>	<b>218 (309)</b>
• baza <i>gogle Scholar</i>	<b>558</b>
Indeks Hirscha	
• baza <i>Web of Science</i>	<b>10</b>
• baza <i>Scopus</i>	<b>11</b>
• baza <i>gogle Scholar</i>	<b>14</b>

.....  
(podpis wnioskodawcy)