

ZAŁĄCZNIK 2

**Autoreferat przedstawiający opis dorobku
i osiągnięć naukowych w języku polskim**

Autoreferat

1. Imię i nazwisko

Piotr Jaśkowski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

W roku 1995 ukończyłem studia w Wydziale Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej na kierunku budownictwo, specjalność: technologia i organizacja budownictwa. Pracę magisterską pt. *Kształtowanie architektury zewnętrznej i wewnętrznej budynków z uwzględnieniem zasad ergonomii* napisałem pod kierunkiem dr inż. Teresy Taczanowskiej i dr arch. Elżbiety Przesmyckiej a jej obrona odbyła się 18 lipca 1995 roku. Studia ukończyłem z wynikiem celującym, uzyskałem tytuł zawodowy magistra inżyniera budownictwa.

Stopień naukowy doktora nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo (specjalność: technologia i organizacja budownictwa) uzyskałem w dniu 18 listopada 2003 r. decyzją Rady Wydziału Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej Politechniki Lubelskiej na podstawie publicznej obrony rozprawy doktorskiej pt. *Metoda projektowania struktury systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego*. Promotorem rozprawy była dr hab. inż. Anna Sobotka, recenzentami byli: prof. dr hab. inż. Oleg Kapliński oraz dr hab. inż. Tadeusz Kasprovicz. Praca doktorska została wyróżniona przez Radę Wydziału IBiS PL oraz nagrodzona przez Ministra Infrastruktury w konkursie na najlepsze prace dyplomowe, doktorskie, habilitacyjne i publikacje w dziedzinie architektury, budownictwa, urbanistyki i gospodarki przestrzennej, mieszkaniowej i komunalnej oraz geodezji i kartografii (22 kwietnia 2005 r.).

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Dnia 1 października 1995 r. zostałem mianowany przez Rektora Politechniki Lubelskiej na stanowisko asystenta w Wydziale Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej w Katedrze Technologii i Organizacji Budownictwa (po reorganizacji w Zakładzie Inżynierii Procesów Budowlanych i Inwestycyjnych w Instytucie Budownictwa w WIBiS PL). W dniu 1 lutego 2004 r. awansowałem na stanowisko adiunkta a w dniu 28 listopada 2005 r. powierzono mi pełnienie funkcji kierownika Zakładu Inżynierii Procesów Budowlanych i Inwestycyjnych w Instytucie Budownictwa. Obecnie od 1 października 2012 r. pełnię obowiązki kierownika Katedry Inżynierii Procesów Budowlanych w Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej (nowa nazwa WIBiS).

Od dnia 1 października 2009 r. jestem zatrudniony dodatkowo na stanowisku starszego wykładowcy w Katedrze Budownictwa Instytutu Nauk Technicznych (obecnie Instytut Nauk Technicznych i Lotnictwa) Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Chełmie – początkowo na część etatu, w latach 2011 r. – 2013 r. w pełnym wymiarze czasu pracy i od października 2013 r. na część etatu.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2

Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

4 a. Tytuł osiągnięcia naukowego

Podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo jest cykl publikacji powiązanych tematycznie zatytułowany:

„METODYKA ZWIĘKSZENIA NIEZAWODNOŚCI PREDYKTYWNYCH HARMONOGRAMÓW REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘĆ BUDOWLANYCH”.

Wyniki badań stanowiących główne osiągnięcie naukowe opublikowano w formie cyklu 15 artykułów o spójnej tematyce w czasopismach krajowych i zagranicznych, wyszczególnionych w wykazie zamieszczonym w punkcie 4b. W punkcie 4c wskazano i omówiono własne osiągnięcia badawczo-naukowe prezentowane w cyklu publikacji dotyczących problematyki modelowania ryzyka oraz uwzględnienia warunków niedeterministycznych w projektowaniu realizacji przedsięwzięć budowlanych, w celu zwiększenia niezawodności i odporności harmonogramów budowlanych na zakłócenia losowe.

4 b. Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

1. Czarnigowska A., **Jaśkowski P.**, Sobotka A.: Zastosowanie metody *critical chain scheduling* (CCS) w przedsięwzięciach budowlanych. Przegląd Organizacji nr 11/2004, s. 22–26. Punktacja MNiSW 7 (2014 r.).
2. Biruk S., **Jaśkowski P.**: Simulation modelling construction project with repetitive tasks using Petri nets theory. Journal of Business Economics and Management. Vilnius: Technika, Vol. 9, No. 3, 2008, pp. 219–226. Impact factor 3,866. Punktacja MNiSW 25 (2014 r.).
3. **Jaśkowski P.**, Biruk S.: The work continuity constraints problem in construction projects' network models, Archives of Civil Engineering, LV, 1, 2009, pp. 29–41. Punktacja MNiSW 6 (2014 r.).
4. **Jaśkowski P.**, Biruk S., Bucoń R.: Assessing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment. Automation in Construction, Vol. 19, No. 2, 2010, pp. 120–126. Impact factor 1,311. Punktacja MNiSW 40 (2014 r.).
5. **Jaśkowski P.**, Biruk S.: Analiza czynników ryzyka czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych. Czasopismo Techniczne z. 2/2010, seria Budownictwo, 2.1B/2010, s. 157–166. Punktacja MNiSW 6 (2014 r.).
6. Biruk S., **Jaśkowski P.**: Harmonogramowanie przedsięwzięć wieloobektowych z ciągłą realizacją procesów na działkach roboczych. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych im. gen. T. Kościuszki we Wrocławiu, Rocznik XLII, 3(157), Lipiec–Wrzesień 2010, s. 340–349. Punktacja MNiSW 4 (2014 r.).

7. **Jaśkowski P.**, Biruk S., Painting N.: Using of fuzzy AHP for assessing risk of construction projects. *International Journal of Arts & Sciences*, Vol. 4, No. 19, 2011, pp. 257–268. Punktacja MNiSW 8 (2012 r.).
8. **Jaśkowski P.**, Biruk S.: The method for improving stability of construction project schedules through buffer allocation. *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 17, No. 3, 2011, pp. 429–444. Impact factor 5,605. Punktacja MNiSW 35 (2014 r.), 45 (2012 r.).
9. **Jaśkowski P.**, Biruk S.: The conceptual framework for construction project risk assessment. *Reliability: Theory & Applications (Electronic Journal Reliability & Risk Analysis: Theory & Applications)*, Vol. 2, No. 3(22), 2011, pp. 27–35. Punktacja MNiSW 6 (2012 r.).
10. **Jaśkowski P.**, Biruk S.: Ocena porównawcza mierników odporności harmonogramów budowlanych. *Civil and Environmental Engineering / Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 2, No. 4, 2011, pp. 501–505. Punktacja MNiSW 2 (2012 r.).
11. **Jaśkowski P.**, Biruk S., Kowalski T.: Trade-off between robustness of a construction schedule and project completion time. *International Journal of Arts & Sciences*, Vol. 4, No. 20, 2011, pp. 205–215. Punktacja MNiSW 8 (2012 r.).
12. **Jaśkowski P.**: Model negocjacji uczestników łańcucha dostaw w budownictwie z zastosowaniem teorii gier wieloosobowych. *Gospodarka Materiałowa i Logistyka*, nr 3/2012, s. 8–12. Punktacja MNiSW 8 (2012 r.), 7 (2014 r.).
13. **Jaśkowski P.**, Sobotka A.: Using soft precedence relations for reduction of the construction project duration. *Technological and Economic Development of Economy*, Vol. 18, No. 2, 2012, pp. 262–279. Impact factor 3,224. Punktacja MNiSW 35 (2014 r.), 45 (2012 r.).
14. **Jaśkowski P.**: Multi-skilled resources allocation models for project scheduling in construction. In: Skorupka D. (Ed.): *Scientific problems in management : project management, risk management, human resource management, economic aspects of management*. Wyższa Szkoła Wojsk Lądowych im. generała Tadeusza Kościuszki, Wrocław 2013, s. 51–58. Punktacja MNiSW 5 (2014 r.).

15. **Jaśkowski P.:** Metodyka zwiększenia niezawodności predyktywnych harmonogramów realizacji przedsięwzięć budowlanych / Methodology for enhancing reliability of predictive project schedules in construction. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, Vol. 17, No. 3, 2015, pp. 471–480. Impact factor 0,505. Punktacja MNiSW 15 (2014 r.).

4c. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Przedsięwzięcie budowlane jest to proces inwestycyjny, który jak każde złożone działanie zorganizowane, musi być dobrze przygotowany koncepcyjnie i organizacyjnie, by mógł być wykonywany efektywnie w danych warunkach realizacji, a także przy danym stanie nauki i techniki. Harmonogramowanie przedsięwzięć, którego celem jest projektowanie ich realizacji w czasie, było przedmiotem badań w wielu ośrodkach zagranicznych, a także w Polsce. Zagadnienie to było również przedmiotem mojej pracy doktorskiej.

Od kilkudziesięciu lat obserwuje się rozwój metod pozwalających na modelowanie rzeczywistych warunków realizacyjnych (w tym przede wszystkim ograniczeń w dostępności zasobów, a także warunków losowych). Produkcja budowlana, ze względu na swoją specyfikę, jest szczególnie narażona na oddziaływanie czynników ryzyka, bardziej niż inne działy gospodarki narodowej. Stosowana w praktyce metoda harmonogramowania przedsięwzięcia budowlanego powinna, w celu zwiększenia niezawodności projektu organizacji wykonania, ograniczać negatywny wpływ tych zjawisk na przebieg i efektywność działań oraz pozwolić w efekcie na opracowanie harmonogramu o małej wrażliwości na zjawiska losowe. Opracowany harmonogram realizacji przedsięwzięcia powinien zapewniać dużą niezawodność dotrzymania ustalonych terminów. Wynika stąd obserwowana obecnie na świecie tendencja rozwoju metod odpornych w projektowaniu realizacji przedsięwzięć. Należy do nich harmonogramowanie predyktywne (ang. *predictive scheduling*), zwane też proaktywnym (ang. *proactive scheduling*), w którym jest opracowywany harmonogram odporny na zakłócenia (ang. *robust schedule*). Tworzenie takiego harmonogramu ma przeciwdziałać niestabilności i nerwowości (ang. *nervousness*) planu. Odporność harmonogramu na zakłócenia należy rozumieć jako zdolność do

przeciwdziałania skutkom nieznacznych wydłużeń czasów wykonania procesów, które mogą być spowodowane przez czynniki ryzyka i niepewność.

Zapewnienie odporności harmonogramu prowadzi do zwiększenia jego niezawodności, rozumianej jako prawdopodobieństwo spełnienia przez harmonogram stawianych mu wymagań w zakresie poprawności ustaleń terminów realizacji procesów (terminu zakończenia przedsięwzięcia i terminów realizacji poszczególnych procesów).

Redukcja wrażliwości harmonogramu na wpływ zjawisk losowych jest możliwa przy zastosowaniu techniki kontyngencji (do ustalenia czasów wykonania procesów z zadaniem poziomu niezawodności ich nieprzekroczenia) i bardziej efektywnej – zgodnie z teorią ograniczeń i koncepcją łańcuchów krytycznych Goldratta – techniki redundancji (do ustalania rezerw czasowych w harmonogramie). Odporny na zakłócenia harmonogram tworzy się m.in. poprzez przydział buforów czasu. Ich zadaniem jest antycypacja zaburzeń produkcyjnych i minimalizacja odchylenia rzeczywistych terminów rozpoczęcia zadań od ustalonych w harmonogramie.

Opracowanie metodyki projektowania predyktywnych harmonogramów realizacji przedsięwzięć budowlanych, w celu zwiększenia ich niezawodności, stanowiło główny cel naukowy prowadzonych badań, których wyniki przedstawiono w cyklu publikacji składających się na moje główne osiągnięcie naukowe. Proponowane w nich podejście proaktywne zapewnia redukcję odchylenia terminów planowanych i rzeczywistych rozpoczęcia procesów, mimo oddziaływania zjawisk losowych i niekorzystnych warunków realizacyjnych. Uwzględnienie warunków ryzyka i niepewności, na podstawie analizy i oceny warunków realizacyjnych, umożliwia określenie realnych terminów zatrudnienia realizatorów procesów. Harmonogramowanie z terminowym zapotrzebowaniem brygad roboczych i wykonawców w warunkach stochastycznych ułatwia koordynację portfela zleceń przedsiębiorstwa (generalnego wykonawcy i podwykonawców), planowanie produkcji pomocniczej i dostaw surowców oraz wyrobów budowlanych, a także ogranicza zjawisko propagacji zakłóceń na inne budowy. Wymiernym rezultatem prowadzonych badań jest opracowanie metody analizy i oceny ryzyka w oparciu o wieloatrybutową analizę warunków realizacyjnych, która dostarcza danych niezbędnych przy projektowaniu predyktywnych harmonogramów.

Większość prac powstała w trakcie realizacji kierowanego przeze mnie projektu badawczego pt. „Projektowanie odpornych harmonogramów budowlanych w oparciu o wieloatrybutową ocenę warunków realizacyjnych”, finansowanego przez MNiSW.

Proponowana metodyka zwiększenia niezawodności harmonogramów realizacji przedsięwzięć budowlanych obejmuje dwa główne sprzężone etapy: ocenę ryzyka czasu realizacji procesów oraz alokację buforów czasu w harmonogramie. Szczegółowy schemat procedury projektowania harmonogramów predyktywnych przedstawiono w artykule [15], stanowiącym podsumowanie i syntezę przeprowadzonych badań. W pozostałych publikacjach cyklu przedstawiono oryginalną metodykę wspomagającą podejmowanie decyzji na każdym etapie tej procedury, tj. metodykę oceny poziomu ryzyka czasu realizacji procesów, określania istotności warunków realizacyjnych, dyspersji czasu realizacji procesów budowlanych i krytyczności procesów w harmonogramowaniu predyktywnym. Zaproponowano zestaw mierników odporności harmonogramu, stanowiących zastępcze kryteria w problemie minimalizacji kosztu niestabilności i określania wielkości buforów czasu.

W artykule [1] analizowano możliwość zastosowania w budownictwie koncepcji zarządzania łańcuchem krytycznym Goldratta (critical chain scheduling / critical chain projekt management – CCS/CCPM) i zarządzania buforami czasu (buffer management). Podejście takie jest stosowane w praktyce wielu przedsiębiorstw przemysłowych na świecie i prezentowane w wielu publikacjach z dziedziny Project Management. Zidentyfikowano następujące słabe strony tej koncepcji:

- Tworzenie wstępnego (dopuszczalnego) harmonogramu odbywa się bez wykorzystania metod optymalizacyjnych. Metoda rozdziału zasobów ma wpływ na ostateczną postać harmonogramu, tym samym decyduje o czasie realizacji przedsięwzięcia (długości łańcucha krytycznego).
- Dążenie do minimalizacji ilości robót w toku (przesuwanie terminu rozpoczęcia zadań niekrytycznych na najpóźniejszy możliwy termin) może powodować niekorzystną kumulację wydatków oraz ograniczać możliwość wprowadzania działań korygujących (np. poprawek) w przypadku wykrycia już w trakcie realizacji błędów projektowych bądź wykonawczych.

- W metodzie nie uwzględniono innych istotnych kryteriów, np. minimalizacji kosztów opóźnień poszczególnych zadań w stosunku do terminów wcześniej ustalonych.
- Brak podstaw empirycznych przyjętych założeń w odniesieniu do sposobu szacowania i redukcji czasów wykonywania procesów oraz brak podstaw teoretycznych określania wielkości buforów czasu (nie uwzględniono m.in. wpływu równoległe przebiegających dróg lub wpływu „dochodzących” procesów krytycznych przy określaniu wielkości buforów zasilających).
- Podatność na dezaktualizację, ze względu na powstawanie konfliktów w dostępności zasobów. Bufory czasu reprezentowane są w postaci procesów pozornych (bez zapotrzebowania na zasoby).
- Brak jednoznacznie ustalonych terminów realizacji procesów (procesy krytyczne rozpoczynane są bezpośrednio po zakończeniu swoich poprzedników). Utrudnia to procedury pozyskiwania i kontraktowania wykonawców.

Krytyczna analiza założeń metody umożliwiła sformułowanie koncepcji udoskonalenia metody określania wielkości buforów czasu.

Problematykę ustalania odpornych na dezaktualizację terminów rozpoczęcia procesów rozważałem po raz pierwszy w artykule [2]. Ze względu na możliwość stosowania różnych reguł szeregowania probabilistycznego przy alokacji zasobów oraz możliwość modelowania różnych warunków logicznych rozpoczęcia zadań, do projektowania przedsięwzięcia z powtarzalnymi procesami w warunkach ryzyka zastosowano sieci Petriego. Celem badań symulacyjnych w przykładzie było ustalenie terminów umownych rozpoczęcia prac przez podwykonawców. Przyjęto, że termin rozpoczęcia pracy brygad powinien być ustalony w taki sposób, aby zapewniony był dla nich front pracy i zminimalizowane ich przestoje, oraz jednocześnie, aby nie powodował on zmniejszenia prawdopodobieństwa dotrzymania planowanego terminu zakończenia całego przedsięwzięcia. Sieci Petriego oprócz podstawowych analiz statystycznych (np. wyznaczenie terminu zakończenia przedsięwzięcia z zadanym poziomem ryzyka) pozwalają na modelowanie zasobów niezbędnych do realizacji procesów i analizy efektywności ich wykorzystania. Terminy rozpoczęcia pracy brygad ustalano na podstawie analizy zależności między nimi a czasem realizacji przedsięwzięcia (dla zadanego poziomu prawdopodobieństwa jego nieprzekroczenia) oraz średnią liczbą dni przestojów w pracy brygad. Wymagało to jednak

przeprowadzenia wielu eksperymentów symulacyjnych oraz dysponowania wiedzą o typach i parametrach rozkładów prawdopodobieństwa czasu wykonania procesów. Dostęp do wystarczającej liczby danych historycznych (o czasach realizacji procesów w zbliżonych warunkach realizacyjnych), niezbędnych do weryfikacji hipotez statystycznych, jest w przypadku przedsięwzięć budowlanych utrudniony ze względu na specyfikę produkcji budowlanej (głównie ze względu na jej niepowtarzalność).

Funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa czasu realizacji procesów opisuje w sposób jednoznaczny profil ryzyka, ustalany na podstawie identyfikacji, analizy i oceny ryzyka. W szczególności analizy i oceny ilościowe, mimo trudności w uzyskaniu obiektywnych danych, dostarczają wymiernych informacji do oceny podejmowanych decyzji w procesie zarządzania ryzykiem przedsięwzięć budowlanych. Trudność w dostępie do danych o rzeczywistych rozkładach prawdopodobieństw oddziaływania czynników ryzyka wymusza konieczność korzystania z informacji i ocen subiektywnych (wiedza, doświadczenie, intuicja). Ranking ważności czynników, dokonany najczęściej na podstawie wartości wskaźników, obliczanych jako iloczyn szacowanej siły oddziaływania i częstotliwości występowania czynników, jest podstawą do planowania strategii reakcji na ryzyko, w tym zmniejszających zagrożenia, w celu zwiększenia potencjalnych korzyści i osiągnięcia celów przedsięwzięcia.

W celu identyfikacji najważniejszych czynników, które mogą wpływać na czas i terminowość realizacji procesów budowlanych w warunkach polskich, przeprowadzono badania ankietowe, których wyniki porównano z danymi z literatury światowej. Na podstawie badań literaturowych oraz wywiadów bezpośrednich z kierownikami budów opracowano listę pytań, zestaw 63 czynników ryzyka oraz wzór kwestionariusza. Próbę badawczą stanowili przede wszystkim pracownicy przedsiębiorstw budowlanych z terenu województwa lubelskiego, pełniący samodzielne funkcje techniczne w budownictwie. Łącznie pozyskano 91 poprawnie wypełnionych kwestionariuszy. Na podstawie uzyskanych wyników sporządzono ranking czynników o największej średniej sile oddziaływania, średniej częstotliwości występowania i średniej ważności (iloczynie siły oddziaływania i częstotliwości występowania). W celu określenia stopnia zgodności opinii osób ankietowanych obliczono wartość zmodyfikowanego współczynnika konkordancji W Kendalla. Wyniki badań przeprowadzonych przy udziale współautora zaprezentowano w artykule [5]. Analiza uzyskanych wyników z przeprowadzonych badań ankietowych potwierdziła niski

poziom zgodności opinii ankietowanych oraz prawidłowość doboru próby. Ponieważ doświadczenia zawodowe osób ankietowanych różnią się, nie należy przyjmować jednakowej ważności czynników ryzyka (siły oddziaływania i częstotliwości występowania) przy analizie różnych przedsięwzięć. Lista najbardziej istotnych czynników sporządzona na podstawie przeprowadzonych badań może być zastosowana do wspomagania identyfikacji czynników ryzyka czasu, jako zbiór danych charakterystycznych dla przeciętnych warunków realizacyjnych.

W artykule [7] czynniki ryzyka uszeregowano według średniej wartości wskaźnika ważności od najmniej do najbardziej istotnego. Na podstawie małej wartości współczynnika Giniego (0,116) stwierdzono niewielki stopień koncentracji ważności czynników oraz brak grupy czynników ryzyka (niewielkiej liczebnie) o znaczącym wpływie na czas realizacji procesów (nie obowiązuje również w tym zakresie zasada Pareto). Ocena ryzyka czasu realizacji przedsięwzięcia nie może być zatem ograniczona tylko do analizy oddziaływania najważniejszych czynników z pominięciem najmniej istotnych.

W oparciu o tezy sformułowane przez prof. K. M. Jaworskiego (*„zakres oddziaływania poszczególnych czynników ryzyka jest różny i jest niejednakowy dla różnych budów, ponieważ zależy od rzeczywistych warunków realizacyjnych oraz od określonej sytuacji decyzyjnej”*¹) oraz prof. Tadeusza Kasprowicza (działalność inwestycyjna w budownictwie *„silnie zależy od ogólnych (wewnętrznych i zewnętrznych) uwarunkowań realizacyjnych”*²) przyjęto założenie, że poziom ryzyka czasu realizacji procesów budowlanych zależy od – charakterystycznych dla danego przedsięwzięcia, wykonawcy oraz lokalizacji – warunków realizacyjnych. Na podstawie studiów literaturowych i bezpośrednich wywiadów z pracownikami przedsiębiorstw budowlanych (przy udziale współautorów) wyłoniono 10 czynników opisujących warunki realizacji przedsięwzięć budowlanych, wskazując ich korelacje z częstością i siłą oddziaływania czynników ryzyka [7].

Podstawową wadą dotychczas stosowanych metod analizy jest jej dokonywanie na podstawie opinii jednego eksperta, przez co uzyskiwane wyniki cechuje niska

¹ Jaworski K. M.: Metodologia projektowania realizacji budowy. Wydawnictwo Naukowe PWN Warszawa 1999

² Kasprowicz T.: Inżynieria przedsięwzięć budowlanych. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom –Warszawa 2002

wiarygodność spowodowana subiektywizmem ocen. Opracowaną procedurę poziomu ryzyka czasu na podstawie oceny stanu warunków realizacyjnych przez grupę ekspertów przedstawiono w artykule [7]. Istotność poszczególnych warunków (ich wpływ na poziom ryzyka czasu) jest ustalana za pomocą metody *AHP*, której zaproponowane rozmyte rozwinięcie – zaprezentowane w artykule [4] – umożliwia agregację względnych preferencji ekspertów za pomocą liczb rozmytych. Wektor wag jest obliczany jako optymalne rozwiązanie zadania rozmytego programowania preferencji. Rozmyte rozwinięcie metody *AHP* pozwala na jej zastosowanie zarówno do wspomaganie decyzji grupy ekspertów, jak i w przypadku wyrażania względnych preferencji w postaci liczb rozmytych oraz niepewności wyrażanych opinii. Ocenę stanu i istotności poszczególnych warunków realizacyjnych (ze względu na zbliżoną podatność na ich wpływ) należy przeprowadzać dla grup procesów budowlanych o zbliżonej podatności na wpływ warunków realizacyjnych. Wyniki oceny ryzyka są podstawą do planowania strategii reakcji na ryzyko, w tym zmniejszających zagrożenia, w celu zwiększenia potencjalnych korzyści i osiągnięcia celów przedsięwzięcia. Dokonane w taki sposób oszacowania poziomu ryzyka realizacji przedsięwzięcia ujmują całokształt uwarunkowań realizacyjnych i nie ograniczają zakresu badań wyłącznie do najbardziej istotnych czynników ryzyka oraz pozwalają na uwzględnienie znacznego skumulowanego wpływu czynników drugorzędnych.

Unormowane wartości wag wszystkich czynników (kryteriów) można ustalić w ograniczonym zakresie również na podstawie średniej geometrycznej z dokonanych ocen ekspertów. Takie podejście gwarantuje spełnienie warunku optymalności Pareto (czynnik uznany przez wszystkich ekspertów za najważniejszy, powinien posiadać największą wagę), jednak w pełni nie wyraża rozbieżności sądów i jest poprawne przy założeniu równomiernego rozkładu opinii ekspertów. Może być stosowane tylko w sytuacji małej dyspersji opinii. Przedstawiona w artykule [4] metoda agregacji opinii ekspertów została pierwotnie zastosowana w problemie ustalania ważności kryteriów oceny wykonawców. Umożliwia zatem również wspomaganie decyzji podejmowanych w procedurach przetargowych (na etapie prekwalfikacji lub oceny spełniania warunków udziału w postępowaniu), w celu minimalizacji ryzyka niewłaściwego wyboru wykonawcy robót budowlanych. Metoda ta uwzględnia rzeczywisty rozkład preferencji ekspertów.

Propozycję procedury wspomagającej korektę parametrów rozkładu zmiennych losowych czasu realizacji procesów budowlanych w zależności od ustalonego stanu warunków realizacyjnych i poziomu ryzyka przedstawiono w artykule [9]. W połączeniu z metodą symulacji komputerowej umożliwia ona ocenę podatności terminów rozpoczynania procesów na dezaktualizację.

Przy tworzeniu odpornych na zakłócenia harmonogramów budowlanych jest konieczne dysponowanie informacją o zmienności czasów wykonania procesów, na skutek oddziaływania zjawisk losowych w konkretnych warunkach realizacji budowy. Czasy wykonania procesów budowlanych podatnych na oddziaływanie niekontrolowanych czynników ryzyka są zmiennymi losowymi. Przyjęto założenie, że oszacowania czasu minimalnego i maksymalnego są dokonywane bez uwzględniania stanu warunków realizacyjnych danej budowy i mogą być pozyskiwane z bazy danych przedsiębiorstwa o czasach realizacji procesów, tworzonej na podstawie danych historycznych. Wartość modalna rozkładu czasu jest określana dla przeciętnych warunków realizacyjnych (poziom ryzyka równy 0,5) na podstawie oszacowań ekspertów lub mediany rozkładu, ustalonej według norm pracochłonności.

Zdefiniowano miarę ryzyka związanego z decyzją o ustaleniu danej wartości czasu realizacji procesu. W celu znalezienia parametrów rozkładu prawdopodobieństwa czasu wykonania procesu przy dowolnej ocenie stanu warunków realizacyjnych, przyjęto założenie o występowaniu zależności wprost proporcjonalnej między wielkością ryzyka związanego z decyzją o ustaleniu czasu wykonania procesu a oceną stanu warunków realizacyjnych (poziomem ryzyka przedsięwzięcia). Dopuszczono również możliwość zmniejszenia wartości czasu maksymalnego i najbardziej prawdopodobnego (mody) – w niekorzystnych warunkach realizacyjnych – oraz zwiększenia wartości czasu minimalnego i mody – w przypadku występowania warunków korzystnych, lepszych niż przeciętne. Opracowano wykresy do ustalania wartości parametrów rozkładu trójkątnego (stosując metodę najmniejszych kwadratów) dla różnych ocen stanu warunków realizacyjnych. Rozkład trójkątny można stosować jako odwzorowanie rzeczywistej funkcji gęstości prawdopodobieństwa czasu wykonania procesu w przypadku braku (lub niewielkiej liczby) danych z przeszłości, co uniemożliwia przeprowadzenie wiarygodnych analiz statystycznych. Rozkład trójkątny – opisany za pomocą prostych zależności analitycznych zrozumiałych dla praktyków –

stanowi dobre przybliżenie rozkładu *beta*, stosowanego w metodzie *PERT*. Zastosowane podejście można jednak stosować także dla rozkładów innych typów.

Małe wartości odchylenia standardowego reszt (mniejsze od 0,136) i wartości współczynnika determinacji (większe od 0,73 i większe niż podawana w literaturze wartość graniczna 0,6) świadczą o dostatecznie dobrym dopasowaniu modelu oraz poprawności przyjętych założeń i pozwalają na zastosowanie metody w praktyce.

Zastosowane podejście pozwala na uwzględnienie wpływu przewidywanego stanu warunków realizacyjnych na czas realizacji procesów i na projektowanie strategii zmniejszania ryzyka. W porównaniu z metodą *PERT*, szacowane wielkości czasów jest niezależne od oceny stanu warunków realizacyjnych i analizy ryzyka. Ułatwia to ich gromadzenie w bazach danych przedsiębiorstwa budowlanego.

Opracowana metoda dostarcza danych do przeprowadzenia symulacji *Monte Carlo* i wyznaczenia wartości miary krytyczności procesów budowlanych. Krytyczność procesów jest rozumiana jako podatność na dezaktualizację terminu jego rozpoczęcia (i dezaktualizację harmonogramu). Procesy krytyczne – w takim ujęciu – wymagają podejmowania działań, których celem jest zabezpieczenie przed dezaktualizacją terminu rozpoczęcia, nie tylko w ramach operatywnego kierowania budową (np. kontrola i przeciwdziałanie nieterminowości realizacji poprzedników), ale już na etapie projektowania realizacji (ochrona terminów rozpoczęcia za pomocą buforów czasu opóźniających planowany termin realizacji).

Ważnym czynnikiem determinującym krytyczność procesu jest struktura modelu sieciowego (liczba dróg dochodzących do procesu, liczba poprzedników procesu). Ocena wpływu zakłóceń wywołanych zmiennością czasów realizacji ciągów procesów poprzedzających nie może być przeprowadzana na podstawie średnich wartości wydłużenia czasu ich wykonania, z pominięciem możliwych odchyłeń od wartości oczekiwanych. Przyjęto, że krytyczność procesu (ze względu na wpływ na terminowość realizacji) jest uzależniona od wielkości możliwego opóźnienia terminu jego rozpoczęcia, w stosunku do terminu określonego w harmonogramie bazowym. Takie ujęcie zagadnienia implikowało konieczność zintegrowania procedury oceny krytyczności (podatności na dezaktualizację terminu rozpoczęcia) z oceną ryzyka czasu i dyspersji czasu realizacji procesów oraz zastosowania symulacji *Monte Carlo*.

Opracowany sposób określania krytyczności procesów przedstawiono w artykule [8]. Procedura oceny krytyczności procesów obejmuje następujące etapy:

1. Obliczenie minimalnego czasu trwania przedsięwzięcia i najwcześniejszych terminów rozpoczynania wszystkich procesów na podstawie wstępnego harmonogramu bazowego sporządzonego dla wartości oczekiwanych czasów wykonania procesów.
2. Przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych modelu sieciowego, przy założeniu, że czasy wykonania procesów są zmiennymi losowymi o wcześniej ustalonych parametrach, a procesy rozpoczynają się zgodnie z przyjętą polityką (np. nie wcześniej niż w ustalonych terminach – najwcześniejszych lub dyrektywnych). Na podstawie symulacji można określić wartość oczekiwaną i odchylenie standardowe opóźnień rozpoczynania procesów w stosunku do terminów zaplanowanych.

Miarą krytyczności procesów – w proponowanym podejściu – jest wielkość opóźnienia rozpoczęcia procesu, dla której prawdopodobieństwo wystąpienia większej wartości zmiennej losowej (opóźnienia) jest mniejsze od 0,1, niezależnie od typu i parametrów rozkładu gęstości prawdopodobieństwa tej zmiennej (wartość ustalona na podstawie nierówności Czebyszewa).

Procesom w większym stopniu podatnym na zakłócenia realizacyjne oraz oddziaływującym silniej na terminowość następnych prac (w tym ujęciu – procesom krytycznym), w celu ochrony terminów ich rozpoczęcia, należy przydzielać większe wartości buforów czasu. Zadaniem buforów czasu dla procesów jest zabezpieczenie przed propagacją zakłóceń w harmonogramie. Są to przerwy (czasy bezczynności) między najwcześniejszymi możliwymi a planowanymi terminami rozpoczęcia procesów. W artykule [8] zaproponowano sposób alokacji i określania wielkości buforów czasu. Wielkość buforów jest określana na podstawie badań symulacyjnych i z zastosowaniem programowania matematycznego. Harmonogram odporny na zakłócenia z ustalonym terminem zakończenia zapewnia minimalizację funkcji kosztu niestabilności, definiowanej jako ważona suma wartości oczekiwanych odchyłeń między przewidzianymi w harmonogramie terminami rozpoczęcia procesów a odpowiadającymi im zmiennymi losowymi. Wielkość buforów czasu w proponowanej metodzie jest określana z uwzględnieniem jednostkowych kosztów opóźnień terminów rozpoczęcia procesów i ich krytyczności, określonej według procedury opisanej

powyżej. Mimo, że wielkości buforów stanowią rozwiązanie optymalne modelu matematycznego liniowego całkowitoliczbowego (mieszanego), opracowana metoda ma charakter heurystyczny. Przyjęta postać funkcji celu umożliwia maksymalizację przyjętej zastępczej miary odporności harmonogramu, a nie bezpośrednio funkcji kosztu niestabilności. Uzyskane rozwiązania można uznać za stosunkowo dobre – potwierdzają to wyniki przeprowadzonych badań weryfikacyjnych. W celu poprawy uzyskanych rozwiązań, opracowano także procedurę redukcji wielkości buforów procesów na końcach dróg w modelu sieciowym przedsięwzięcia. Proponowana metoda pozwala na uzyskanie lepszych wyników pod względem oczekiwanej wartości kosztu niestabilności od uzyskiwanych przy zastosowaniu prostych heurystyk, które nie uwzględniają zmienności czasów wykonania procesów.

Odporność harmonogramu (*solution robustness*) lub jego stabilność jest mierzona za pomocą kosztu niestabilności harmonogramu – sumy ważonych wartości bezwzględnych odchyłeń wartości oczekiwanej terminów rozpoczęcia procesów od terminów zaplanowanych. Ze względu na dużą złożoność obliczeniową rozwiązania problemu maksymalizacji odporności harmonogramów przedsięwzięć realizowanych w praktyce (model stochastyczny), w literaturze przedmiotu są poszukiwane zastępcze mierniki odporności. W artykule [10] przeprowadzono analizę porównawczą jakości różnych mierników odporności harmonogramów, prezentowanych w literaturze przedmiotu oraz zaproponowanego przeze mnie. W przykładzie oceniono jakość ośmiu zastępczych mierników odporności na zakłócenia oraz kosztu niestabilności harmonogramu opracowanego z zastosowaniem heurystyki *adapted float factor*. Poszukiwano maksymalnych wartości wszystkich mierników w celu zwiększenia odporności harmonogramu na zakłócenia. Koszty niestabilności harmonogramów ustalono na podstawie wyników badań symulacyjnych. Najlepsze rozwiązania – z najmniejszą wartością kosztu niestabilności harmonogramu – uzyskano poprzez maksymalizację wartości zaproponowanego miernika odporności harmonogramu predyktywnego.

W artykule [11] zaproponowano dwa nowe mierniki odporności harmonogramów, stanowiące kryteria optymalizacji w problemie alokacji buforów czasu. Zaproponowana postać kryteriów umożliwia zastosowanie klasycznych narzędzi rozwiązywania zadań programowania liniowego. Jakość proponowanych mierników odporności oceniono dla różnych dyrektywnych czasów realizacji przedsięwzięcia

w przykładzie. Na podstawie analizy uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Istotny wpływ na wielkość kosztu niestabilności harmonogramu ma wielkość czasu przeznaczanego na realizację przedsięwzięcia (zależność o charakterze hiperbolicznym). Dobór właściwego miernika odporności, dla którego uzyskuje się najmniejsze koszty niestabilności harmonogramu, jest uzależniony od wielkości rezerwy czasu realizacji przedsięwzięcia alokowanej w postaci buforów.
2. Mniejsze wartości kosztów niestabilności harmonogramów uzyskano przy zastosowaniu miernika zaproponowanego w artykule [8], wymuszającego lepszą ochronę procesów na końcach dróg w modelu sieciowym. Bufory umieszczone w terminach pośrednich mają większy potencjał i efektywność zapobiegania propagacji zakłóceń w harmonogramie.
3. Wszystkie proponowane mierniki można zaliczyć do tej samej rodziny funkcji.

Dążąc do redukcji kosztu niestabilności harmonogramu należy zatem poszukiwać również optymalnych (ze względu na kryterium czasu) harmonogramów bazowych, w celu zwiększenia wartości całkowitego zapasu czasu, rozdzielanego w postaci buforów. Na tym etapie mają zastosowanie różne opracowane modele i metody harmonogramowania (np. rozdziału zasobów; uwzględniające relacje słabe *soft logic*; z ustalaniem optymalnej kolejności zajmowania działek przez brygady itd.). Przedstawiono je w artykułach [3, 6, 12, 13, 14]. Ponieważ w wyniku ich zastosowania jest ustalana optymalna kolejność realizacji procesów (lub działek roboczych), zależności kolejnościowe między procesami oraz warianty wykonania procesów, powinny być one uwzględnione również przy tworzeniu harmonogramu odpornego, poprzez modyfikacje modelu sieciowego. Poniżej szczegółowo scharakteryzowano proponowane modele i metody.

W artykule [3] opracowano model matematyczny problemu minimalizacji czasu realizacji przedsięwzięcia i redukcji przestojów (optymalizacji dwukryterialnej). Poszczególnym ciągom organizacyjnym, dla których dąży się do zapewnienia ciągłej realizacji, przypisano (na początku i na końcu ciągów) dodatkowe procesy sztuczne, połączone krawędziami odpowiednio z wierzchołkiem początkowym i końcowym grafu oraz ciągu. Dla każdego procesu sztucznego określono zbiór wariantów wykonania różniących się czasem i kosztem wykonania. Założono, że skrócenie czasu trwania

procesu sztucznego powoduje jednostkowy wzrost kosztu. Przy tych założeniach problem redukcji przerw w realizacji procesów należących do poszczególnych ciągów jest tożsamy z maksymalizacją sumy czasów wykonania procesów sztucznych lub minimalizacją sumy kosztów ich realizacji. W celu wyznaczenia rozwiązań niezdominowanych dla problemu dwukryterialnego (w przykładzie) zastosowano algorytm ewolucyjny oraz skalaryzację funkcji celu z wykorzystaniem metryki Czebyszewa.

W artykule [13] rozważano problem doboru działań prowadzących do redukcji czasu realizacji przedsięwzięcia pod kątem minimalizacji związanych z nimi kosztów. Opracowano model matematyczny zagadnienia z uwzględnieniem dodatkowych zależności kolejnościowych pomiędzy procesami (relacje typu „*soft*”), innych niż w tradycyjnych metodach harmonogramowania. Relacje kolejnościowe, za pomocą których modelowane są zależności technologiczne i organizacyjne między procesami, są określane w fazie budowy modelu i wynikają z technologii oraz ustaleń w zakresie alokacji zasobów. W tradycyjnych metodach harmonogramowania zakłada się ich niezmienny charakter. W praktyce relacje te mają charakter „silny” (zależności niezmienne) i „słaby” (zależności, które mogą być osłabione – poprzez ich usunięcie lub zmianę kolejności realizacji procesów). Przy zmienionej kolejności wykonania procesów, konieczne są zwykle dodatkowe roboty wymagające nakładów czasu i środków finansowych. Osłabienie zależności może mieć większe uzasadnienie ekonomiczne niż zmiana technologii wykonania procesu na mniej pracochłonną lub alokacja dodatkowych zasobów. Dlatego też problem modelowano jako zadanie wyboru wariantu wykonania procesów oraz opcji osłabienia relacji słabych (implikacje logiczne zapisano za pomocą zależności liniowych), w celu minimalizacji kosztu realizacji przedsięwzięcia przy ustalonym dyrektywnie terminie jego zakończenia. Wprowadzenie w modelach realizacji przedsięwzięć relacji słabych zwiększa liczebność zbioru rozwiązań dopuszczalnych dla problemu redukcji czasu, zwiększa zakres wartości kryterium optymalizacji i umożliwia wyznaczenie wariantu realizacji z mniejszym kosztem. Jest to istotne z punktu widzenia efektywności przedsięwzięcia zarówno dla inwestora jak i wykonawcy. Na podstawie uzyskanych wyników rozwiązania różnych wersji modelu w przykładzie, sformułowano następującą tezę: zastosowanie zależności słabych do modelowania przedsięwzięć zwiększa elastyczność w ustalaniu terminów

realizacji procesów, alokacji zasobów, wyrównaniu poziomu ich zapotrzebowania w warunkach presji ze strony inwestora do redukcji cyklu realizacji inwestycji.

W artykule [12] zaproponowano model wspomagający negocjacje pomiędzy członkami organizacji realizującej przedsięwzięcie budowlanej (generalny wykonawca i podwykonawca) oraz ustalenie harmonogramu budowy dla najkrótszego czasu jego wykonania, zapewniającego maksymalizację sumy wypłat dodatkowego wynagrodzenia poszczególnym członkom koalicji. Dodatkowe wynagrodzenie jest wypłacane przez inwestora w przypadku przyspieszenia terminu zakończenia przedsięwzięcia. Przyspieszenie terminu odbioru końcowego wymaga aktualizacji harmonogramu oraz przeprowadzenia negocjacji z podwykonawcami i dostawcami. W wyniku negocjacji należy dokonać alokacji dodatkowego wynagrodzenia, biorąc pod uwagę także zwiększenie (lub redukcję) kosztów realizacji poszczególnych czynności przy skróceniu (wydłużeniu) czasu ich wykonania. W proponowanym modelu przyjęto, że relacja pomiędzy czasem i kosztem realizacji procesów ma charakter liniowy. Przy ustalaniu sposobu podziału dodatkowego wynagrodzenia zastosowano koncepcję nukleolusa, zaczerpniętą z teorii gier wieloosobowych. Nukleolus jest to podział wypłat, zapewniający wyrównanie i zmniejszanie różnic pomiędzy łączną wartością wypłat uczestników gry w ramach dowolnej koalicji i w koalicji pełnej, co zmniejsza równocześnie zagrożenie rozpadu koalicji pełnej i zawarcia koalicji przez część uczestników gry. Zawarcie koalicji pełnej gwarantuje maksymalizację łącznych zysków uczestników łańcucha dostaw. Niewielkie różnice wypłat w stosunku do innych koalicji zniechęcają kooperantów do ich zawarcia. Zaproponowany model umożliwia dokonanie podziału zysków, których źródłem są dodatkowe wynagrodzenie za wcześniejsze zakończenie realizacji przedsięwzięcia, przewidziane w umowie z inwestorem, a także redukcja kosztów, możliwa do uzyskania przy mniejszym zaangażowaniu zasobów i wydłużeniu czasów wykonania procesów.

Alokacja zasobów czynnych (robotnicy, zespoły robocze, brygady, podwykonawcy, maszyny, zestawy maszyn) i synchronizacja ich działań wpływają na czas oraz koszt realizacji przedsięwzięć budowlanych. W pracy [14] przedstawiono model harmonizacji wykonawców budowlanych wielozadaniowych (zatrudniających zasoby o kwalifikacjach niezbędnych do realizacji procesów wymagających różnych umiejętności). Problem ten występuje często w praktyce, bowiem robotnicy budowlani są kształceni w kilku specjalnościach zawodowych jednocześnie (zdobywają kilka

kwalifikacji zawodowych), często są kierowani do realizacji zadań wymagających zbliżonych umiejętności, w przypadku braku dla nich frontu robót lub konieczności przyspieszenia tempa realizacji procesów krytycznych. Proponowany model decyzyjny wspomaga ich dobór oraz synchronizację pracy w czasie, uwzględniając ograniczenia w ich dostępności, wynikające z alokacji do realizacji innych zadań. Problem opisano modelem matematycznym programowania liniowego mieszanego (ze zmiennymi binarnymi) z funkcją celu minimalizującą czas realizacji przedsięwzięcia przy ustalonym budżecie na jego wykonanie. W oryginalny sposób dokonano formalizacji ograniczeń w dostępności zasobów, wprowadzając liniowe zależności implikujące sukcesywną (kolejną) realizację procesów realizowanych przez tę samą jednostkę organizacyjną.

W artykule [6] opracowano modele decyzyjne minimalizacji czasu realizacji przedsięwzięć wieloobektowych z ciągłą realizacją robót na frontach roboczych. Przedstawiono sposoby modelowania dodatkowych ograniczeń – charakterystycznych również dla działań w warunkach kryzysowych i ryzyka – umożliwiające zastosowanie w harmonogramowaniu algorytmów opracowanych do rozwiązania problemu komiwojażera. Zaproponowano sposób ustalenia w modelu numeru działki, która musi być zrealizowana w pierwszej kolejności, uwzględnienia ustalonej kolejności realizacji podzbioru działek oraz ograniczeń w postaci dyrektywnie ustalonych przedziałów czasu wykonania robót na poszczególnych działkach. Konieczność realizacji robót w pierwszej kolejności na ustalonym froncie wynika zazwyczaj ze względów ekonomicznych (przyspieszenie obrotu środków finansowych poprzez realizację zlecenia najbardziej dochodowego, zachowanie płynności finansowej przedsiębiorstwa) lub z pilnej potrzeby zaspokojenia oczekiwań społecznych (np. przy działaniu w sytuacji kryzysowej). Konieczność realizacji podzbioru działek w ustalonej kolejności może wynikać ze względów konstrukcyjnych (np. w budynkach wielokondygnacyjnych, gdzie działkę stanowi kondygnacja obiektu) lub użytkowych (przekazywanie obiektów do użytkowania zgodnie z ustalonymi etapami). Ograniczenia terminowe wynikają zazwyczaj z ustaleń kontraktowych. Proponowana metoda optymalizacji harmonogramu z zapewnieniem ciągłości pracy na działkach roboczych, która sprowadza permutacyjny problem szeregowania zadań do – powszechnie znanego i dobrze opisanego w literaturze badań operacyjnych – problemu komiwojażera, ma tę zaletę, że można wykorzystać gotowe, łatwo dostępne oprogramowanie.

Dzięki wykorzystaniu istniejącego na rynku oprogramowania jest możliwe wdrożenie opracowanych modeli i metod harmonogramowania predyktywnego do praktyki zarządzania przedsięwzięciem budowlanym w obecnej formie. Zamierzeniem autora w przyszłości będzie opracowanie aplikacji komputerowej, wspomagającej jej implementację praktyczną.

Podejście zmierzające do opracowania harmonogramów odpornych na zakłócenia (predyktywnych), określane mianem proaktywnego, jest oceniane w literaturze przedmiotu jako bardziej efektywne od postępowania reaktywnego, polegającego na aktualizacji harmonogramów, gdy w trakcie realizacji wystąpią zakłócenia wymagające zmian wcześniej sporządzonych planów.

Zaprezentowane podejście do harmonogramowania realizacji przedsięwzięć stanowi wkład w rozwój dyscypliny Budownictwo. Oryginalne rezultaty o charakterze naukowym to m.in.:

- 1) Implementacja koncepcji projektowania odpornego na zakłócenia do harmonogramowania przedsięwzięć budowlanych, w tym.
 - Opracowanie mierników odporności harmonogramów i algorytmu harmonogramowania o małej złożoności obliczeniowej.
 - Zdefiniowanie pojęcia krytyczności procesów w warunkach ryzyka.
 - Wspomaganie decyzji na każdym etapie zarządzania ryzykiem przedsięwzięcia budowlanego (zintegrowany charakter opracowanych metod).
- 2) Opracowanie metody oceny poziomu ryzyka bazującej na analizie całokształtu uwarunkowań realizacyjnych.
- 3) Opracowanie metody określania parametrów rozkładu czasu wykonania procesów w różnych warunkach realizacyjnych (zastosowanie w badaniach symulacyjnych i do oceny wariantów usprawnień).
- 4) Opracowanie rozmytego rozwinięcia metody AHP do wspomaganie decyzji grupowych w różnych obszarach budownictwa (zwiększenie obiektywizmu ocen, możliwość zastosowania w przypadku dużej rozbieżności opinii ekspertów).

Proponowane ujęcie uwzględnienia warunków ryzyka w harmonogramach predyktywnych zwiększa ich niezawodność i zapobiega dezaktualizacji terminu końcowego oraz terminów realizacji poszczególnych procesów lub etapów przedsięwzięcia.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

5.1. Publikacje przed doktoratem

Tematyka moich prac naukowo-badawczych przed doktoratem dotyczyła następujących zagadnień:

- technologia i organizacja produkcji budowlanej z uwzględnieniem zasad ergonomii i ekologii [A1, A3, A4, A6, A7, A8, A9, A10, A19, A22],
- ergonomia koncepcyjna, zasady projektowania ergonomicznego [A1, A2],
- zarządzanie przedsięwzięciami inwestycyjno-budowlanymi (koncepcja organizacji wirtualnej w projektowaniu systemu realizacji przedsięwzięć) [A15, A16, A17, A20, A21, A24, A26, A28],
- zarządzanie przedsiębiorstwem budowlanym (zarządzanie strategiczne, procesowe, ewolucja struktur organizacyjnych przedsiębiorstw) [A5, A13, A24, A26, A28],
- harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych (zastosowanie koncepcji *lean management* do planowania realizacji przedsięwzięć; metody ewolucyjne) [A25, A27],
- logistyka przedsiębiorstwa i przedsięwzięcia budowlanego (centra logistyczne, minimalizacja kosztów logistycznych) [A11, A12, A14, A18, A23].

Do najbardziej istotnych osiągnięć naukowych z tego okresu zaliczam:

- Opracowanie metody oceny ergonomiczności rozwiązań projektowych mieszkań dla osób niepełnosprawnych [A1].
- Opublikowanie współautorskiej monografii [A1], w której podsumowano badania z zakresu zasad projektowania ergonomicznego mieszkań oraz procesów budowlanych.
- Opracowanie metody wspomagającej projektowanie strategii ogólnej przedsiębiorstwa budowlanego z wykorzystaniem analizy kluczowych czynników sukcesu i analizy ekonomicznej usprawnień, w celu poprawy pozycji konkurencyjnej [A5].
- Wskazanie trendów w ewolucji struktur organizacyjnych przedsiębiorstw budowlanych [A13].

— Współdział w opracowaniu koncepcji zarządzania przedsięwzięciem inwestycyjno-budowlanym jako organizacji wirtualnej z sieciową strukturą organizacyjną [A21].

Przed doktoratem opublikowałem 1 współautorską monografię, 20 artykułów w czasopiśmie krajowych oraz 7 referatów w materiałach konferencji naukowych.

5.2. Praca doktorska

Tytuł: „Metoda projektowania struktury systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego”.

W pracy podjęto problem projektowania struktury systemu wykonawczego przy harmonogramowaniu realizacji przedsięwzięcia budowlanego typu „kompleks operacji”. System ten złożony jest z niejednorodnych jednostek operacyjnych generalnego wykonawcy – np. przedsiębiorstwa o strukturze sieciowej, oraz kooperujących jednostek zewnętrznych – podwykonawców. Tworzą oni rezerwę realizatorów dla generalnego wykonawcy. Struktura tego systemu, jakkolwiek z góry ustalona w procesie projektowania realizacji przedsięwzięcia, jest strukturą dynamicznie zmienną w czasie. W rozważaniach przyjęto zdeterminowany charakter projektowanych procesów technologicznych. Dostępność wszystkich zasobów odnawialnych przedsiębiorstwa (zasobów ludzkich jak i maszyn i urządzeń) jest ograniczona, przy czym poziom ich dostępności może być zmienny w czasie realizacji przedsięwzięcia. Tak przedstawiona sytuacja decyzyjna nie była dotychczas przedmiotem badań i nie doczekała się metod rozwiązań.

Opracowaną metodę projektowania struktury systemu wykonawczego wykorzystać można do wspomaganie decyzji w trzech obszarach:

- 1) o doborze i konieczności zatrudnienia podwykonawców przez generalnego wykonawcę (na etapie przygotowywania oferty) – obszar podstawowy wykorzystania metody,
- 2) o wyborze niezależnych wykonawców przedsięwzięcia budowlanego,
- 3) o rozdziale zasobów odnawialnych (w tym brygad czy zespołów roboczych) przedsiębiorstwa budowlanego i doborze podwykonawców na etapie realizacji przedsięwzięcia.

Ocena możliwych wariantów budowy struktury systemu wykonawczego była dokonywana przy zastosowaniu następujących kryteriów decydujących o efektywności przedsięwzięcia i działalności generalnego wykonawcy:

- minimalizacja czasu realizacji przedsięwzięcia,
- minimalizacja łącznego kosztu realizacji wszystkich operacji systemu,
- minimalizacji kosztu robót zleconych do wykonania zewnętrznym jednostkom operacyjnym (podwykonawcom).

Główne etapy proponowanej metody projektowania struktury systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego to:

1. Przygotowanie danych do podejmowania decyzji, a w szczególności budowa grafu zależności technologicznych między procesami (pakietami robót), wybór wiarygodnych (potencjalnych) podwykonawców zapewniających odpowiednią jakość realizacji procesów oraz ustalenie czasów i kosztów realizacji procesów a także ograniczeń w dostępności zasobów i wykonawców.
2. Wybór rozwiązania – struktury systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego, wspomagany obliczeniami przeprowadzonymi z wykorzystaniem systemu komputerowego.
3. Weryfikacja rozwiązania – np. zmiany terminów realizacji procesów w ramach istniejących realnych zapasów czasu.
4. Kontrola warunków i terminów realizacji procesów (po skierowaniu uzyskanego rozwiązania do realizacji) i ewentualnie aktualizacja modelu zagadnienia.

W pracy, ze względu na ograniczenia możliwości zastosowania metod dokładnych, wynikające ze złożoności analizowanego problemu, oraz ze względu na niedoskonałość metod heurystycznych, poszukiwanie optymalnych wariantów budowy systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego było dokonywane z wykorzystaniem metod metaheurystycznych zaadaptowanych do potrzeb rozwiązywanego problemu. Rozwiązania niezdominowane (z punktu widzenia celów optymalizacji) generowane były z wykorzystaniem funkcji celu skalaryzującej osiągnięcia celów, pozwalającej na wyznaczenie dobrej reprezentacji całego zbioru rozwiązań niezdominowanych i umożliwiającej sprowadzenie zagadnienia do zadania optymalizacji jednokryterialnej. Dobór wykonawców dokonywany był z wykorzystaniem algorytmu ewolucyjnego a rozdział zasobów odnawialnych (których

dostępność jest ograniczona i zmienna w czasie) za pomocą oryginalnego heurystycznego algorytmu obliczania najkrótszego czasu realizacji przedsięwzięcia, w którym wartości priorytetów procesów wyznaczone są również w algorytmie ewolucyjnym. Wybór rozwiązania końcowego – odpowiedniego wariantu struktury systemu wykonawczego – dokonywany może być przez decydenta z wykorzystaniem interaktywnego algorytmu R.E. Steuera lub na podstawie analizy aproksymowanej zależności pomiędzy wartościami kryteriów a ich wagami dla rozwiązań stanowiących przybliżenie zbioru rozwiązań niezdominowanych.

Wiarygodność metody obliczeń i poprawność uzyskiwanych wyników potwierdziły badania weryfikacyjne przeprowadzone dla zagadnień testowych prezentowanych w literaturze przedmiotu.

Należy podkreślić charakter aplikacyjny opracowanej przez autora metody PSSWPB. Możliwość analizowania zasadności zatrudnienia podwykonawców oraz wpływu wariantów budowy struktury systemu wykonawczego na efektywność przedsięwzięcia budowlanego oraz efektywność działalności generalnego wykonawcy, jak również uwzględnienie wielu ograniczeń technologiczno-organizacyjnych podkreślają praktyczne znaczenie przeprowadzonych badań.

Praca doktorska została nagrodzona w 2005 r. przez Ministra Infrastruktury w Konkursie na najlepsze za prace dyplomowe, doktorskie, habilitacyjne i publikacje w dziedzinach architektury, budownictwa, urbanistyki, gospodarki mieszkaniowej i komunalnej, ekonomiki budownictwa i inwestycji oraz nieruchomości.

5.3. Publikacje po doktoracie

Tematyka prac naukowo-badawczych po doktoracie obejmowała trzy obszary zagadnień:

1. Logistyka przedsięwzięć i przedsiębiorstw budowlanych [B2, B5, B8, B17, B18, B20, B27, B28, B29, B32, B35, B49].
2. Modele oraz metody w organizacji i zarządzaniu w budownictwie [B3, B4, B6, B9, B10, B11, B12, B13, B14, B17, B21, B24, B25, B26, B33, B34, B46, B47].

3. Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych [1 – 15, B1, B7, B15, B16, B19, B22, B23, B30, B31, B36, B37, B38, B39, B40, B41, B42, B43, B44, B45, B48, B50].

Do najważniejszych osiągnięć naukowo – badawczych z obszaru *Logistyka przedsięwzięć i przedsiębiorstw budowlanych* zaliczam:

- Opracowanie modelu decyzyjnego zaopatrzenia budowy w kruszywo [B2, B49]. Opracowano model programowania linowego mieszanego (mixed binary integer programming), w którym uwzględniono warunki realizacji przedsięwzięć drogowych w Polsce, w szczególności: ograniczony zasób/podaż kruszywa, problemy transportowe (stan dróg dojazdowych z kopalni na plac budowy wpływający na wydłużenie czasu realizacji dostaw), możliwość uzyskania zwrotu płatności za zakup materiałów przed odbiorem robót, które skłaniają wykonawców do gromadzenia zapasów kruszyw na placach składowych. Rozważane zagadnienie stanowi rozwinięcie klasycznego problemu przeładunkowego (*transshipment problem*), poprzez uwzględnienie zmiany lokalizacji robót (i miejsc zapotrzebowania, wbudowania materiałów) w czasie, zgodnie z harmonogramem. Pozwala on ustalić optymalne wielkości dostaw kruszyw z kopalń o ograniczonej zdolności produkcyjnej na składowiska o ustalonej lokalizacji wzdłuż budowanej drogi, zapewniające minimalizację kosztów obsługi logistycznej.
- Zastosowanie metodyki reengineeringu do usprawnienia systemu logistycznego betonowni [B8]. Zidentyfikowano podstawowe elementy systemu oraz zaproponowano, w oparciu o rachunek ekonomiczny, propozycje zmian w obszarze logistyki zaopatrzenia.
- Modyfikacja klasycznej metody SWOT, w celu uzyskania wyników analizy o charakterze ilościowym. Opracowana metoda obliczeniowa umożliwia alokację ocenianych alternatyw w czteropolowej macierzy GSM (Grant Strategy Matrix). Alternatywy traktowane są jako punkty w dwuwymiarowej przestrzeni. Jeden wymiar to ocena otoczenia, drugi ocena potencjału wewnętrznego. Metodę tę zastosowano do oceny wariantów budowy systemów logistycznych przedsięwzięć budowlanych [B17, B18].
- Zdefiniowanie i scharakteryzowanie *Supply Chain Management* jako koncepcji zarządzania w budownictwie [B20]. Zidentyfikowano różnice występujące w relacjach między kooperującymi organizacjami w tradycyjnym podejściu do

zarządzania i w SCM. Wskazano zalety i bariery z wdrażania SCM jako koncepcji zarządzania przedsiębiorstwami i przedsiębiorstwami w budownictwie. SCM ma na celu zwiększenie zadowolenia klienta poprzez skrócenie czasu realizacji zamówień i zmniejszenie kosztów nie tylko w sferze logistyki zaopatrzenia. SCM umożliwia osiągnięcie powyższych celów dzięki optymalizacji przepływów zasobów w sieci dostaw oraz koordynacji ogniw łańcuchów we wszystkich obszarach funkcjonowania i partnerstwu.

- Zidentyfikowano wielokryterialny problem transportowy w logistyce zaopatrzenia budowy w materiały budowlane na składowiska rozlokowane wzdłuż budowli liniowej [B27, B28]. W przypadku wielu sytuacji występujących w praktyce, przy planowaniu dostaw decydenci dążą do podjęcia decyzji optymalnych ze względu na wiele, często sprzecznych, kryteriów (np. minimalizacja łącznych kosztów transportu, czasu transportu, ryzyka zapewnienia dostawy w wymaganym terminie, zależnego od warunków ruchu na planowanych trasach przejazdu, maksymalizacja jakości dostarczanych materiałów itd.). Dokonano formalizacji matematycznej wielokryterialnego problemu transportowego, a do rozwiązania modelu zaproponowano zastosowanie podejścia polegającego na parametryzacji zbioru rozwiązań niezdominowanych za pomocą zastępczej funkcji celu skalaryzującej wartości poszczególnych kryteriów.
- Zaproponowanie modelu optymalizacji kosztów gospodarowania zapasami materiałów budowlanych zużywanych (zgodnie z harmonogramem budowy) w sposób nierównomierny [B32]. Uwzględniono w nim koszty organizowania i funkcjonowania składowisk tymczasowych, których powierzchnia jest ustalana na maksymalny zapas materiału w okresie realizacji budowy.
- Opublikowanie współautorskiej monografii [B5], stanowiącej podsumowanie kilkuletnich badań zespołu współautorów z zakresu zarządzania łańcuchem dostaw w budownictwie. Ujęto w niej wcześniej opracowane modele wspomaganie podejmowania decyzji, prezentowane m.in. w pracach [12, B2, B27, B28, B31, B32, B49].
- Opracowanie modelu decyzyjnego planowania dostaw materiałów budowlanych z uwzględnieniem rozmytego charakteru niezbędnych informacji o kształtowaniu się cen w przyszłości oraz niepewności przy określaniu wielkości zapotrzebowania w kolejnych okresach [B35]. Ma on zastosowanie zarówno przy optymalizacji

dostaw i zapasów materiałów zużywanych przy realizacji poszczególnych przedsięwzięć budowlanych (w magazynach przyobiektowych), jak i w skali całego przedsiębiorstwa budowlanego (w magazynach centralnych), zaangażowanego w wykonanie portfela zleceń. Do rozwiązania opracowanego modelu problemu (w formie rozmytego zadania programowania liniowego ze współczynnikami w funkcji celu przy zmiennych decyzyjnych w postaci liczb rozmytych) zastosowano metodę polegającą na przekształceniu modelu do zadania programowania liniowego z trzema funkcjami kryterialnymi.

Do najważniejszych osiągnięć naukowo – badawczych z obszaru *Modele oraz metody w organizacji i zarządzaniu w budownictwie* zaliczam:

- Opublikowanie współautorskiej monografii [B4], stanowiącej podsumowanie kilkuletnich badań zespołu współautorów z zakresu zarządzania w budownictwie i rozwoju zastosowań koncepcji organizacji wirtualnej w projektowaniu systemu zarządzania przedsięwzięciem budowlanym. Wyniki tych badań przedstawiono również w pracach [B6, B13]. Indywidualnym wkładem mojego autorstwa było m.in. dokonanie systematyki i analizy zasad projektowania struktur organizacyjnych przedsiębiorstw budowlanych, analiza zmian w strukturze organizacyjnej badanego przedsiębiorstwa, opracowanie modelu sieciowej struktury organizacji wirtualnej do realizacji przedsięwzięcia budowlanego oraz procedury projektowania systemu zarządzania przedsięwzięciem w oparciu o model organizacji wirtualnej (wspólnie ze współautorką), zastosowanie koncepcji zarządzania procesowego oraz controllingu jako metod wspomagających zarządzanie w organizacji wirtualnej, analiza funkcjonowania centrów logistycznych, współudział w opracowaniu koncepcji systemu informatycznego do zarządzania organizacją wirtualną poprzez zidentyfikowanie wymagań w zakresie struktury systemu, opracowanie macierzy zależności wybranych procesów w organizacji wirtualnej.
- Dokonanie systematyki metod i procedur stosowanych przy doborze wykonawców budowlanych do realizacji przedsięwzięć zarówno przez inwestorów prywatnych, jak i ze środków publicznych [B9]. W artykule zaprezentowano wyniki uzyskane przy realizacji pracy doktorskiej.
- Programowanie i przeprowadzenie badań symulacyjnych zastosowania techniki *Lean management* przy realizacji zespołu wielokondygnacyjnych obiektów

budowlanych oraz przy produkcji prefabrykowanych elementów stropowych [B10]. Realizację budowy przedstawiono jako złożony model systemu masowej obsługi. Badania modelu przeprowadzono w trzech etapach, które umożliwiły opracowanie planu produkcji, który zapewnia dotrzymanie terminu dyrektywnego realizacji przedsięwzięcia, unikanie nadmiernych zapasów elementów prefabrykowanych, pełne wykorzystanie zdolności produkcyjnych wytwórni pomocniczej oraz zapewnienie ciągłości pracy brygad.

- Analiza wyników badań ankietowych przedsiębiorstw budowlanych dotyczących stosowanych przez nie procedur oraz kryteriów wyboru podwykonawców robót [B11]. W artykule zaprezentowano wyniki uzyskane przy realizacji pracy doktorskiej.
- Zaprojektowanie systemu zarządzania przedsiębiorstwem budowlanym w oparciu o strategiczną kartę wyników na etapie monitorowania wdrażania i realizacji strategii ogólnej [B12]. Opracowano spójny zestaw wskaźników do bieżącej oceny stanu organizacji i stopnia osiągnięcia celów strategicznych.
- Opracowanie procedur systemu zarządzania ryzykiem zawodowym w przedsiębiorstwie budowlanym [B14]. Dokonanie analizy wymagań prawnych w zakresie bhp w budownictwie i przeglądu metod oceny ryzyka zawodowego i adaptacja w warunkach budownictwa.
- Zastosowanie modelu Friedmana do opracowania metody określania wielkości wskaźnika narzutu zysku przez przedsiębiorstwo robót specjalistycznych, wspomagającej projektowanie jego strategii przetargowej [B21]. Kształtowanie ceny oferty na poziomie wynikającym z opracowanej metody może zapewnić maksymalizację wartości oczekiwanej zysku przedsiębiorstwa.
- Przeprowadzenie studiów literaturowych w zakresie modyfikacji metody *Earned Value* [B24]. Dokonanie analizy możliwości stosowania nowych narzędzi do kontroli przebiegu realizacji przedsięwzięcia budowlanego zgodnie z harmonogramem.
- Zastosowanie rozmytego rozszerzenia metody AHP do określenia ważności kryteriów oceny przydatności użytkowej budynków mieszkalnych z wykorzystaniem wiedzy eksperckiej [B25].
- Identyfikacja podstawowych kryteriów oceny atrakcyjności potencjalnych zleceń przedsiębiorstwa oraz opracowanie metody wspomagającej podejmowanie

racjonalnych decyzji w zakresie określania ceny oferty i cen jednostkowych poszczególnych robót lub etapów przedsięwzięcia, w celu maksymalizacji aktualnej wartości netto przepływów pieniężnych (różnicy przychodów z wystawionych faktur oraz kosztów realizacji robót) [B26].

- Opracowanie modelu symulacyjnego współpracy maszyn o pracy cyklicznej przy realizacji remontu drogi z wykorzystaniem metodyki tworzenia sieci Cyclone. Przeprowadzono badania symulacyjne modelu w celu oceny kosztów pracy i wydajności dla różnych wariantów budowy zestawu maszyn. Badania symulacyjne umożliwiły zaprojektowanie najlepszych zestawów maszyn dla różnych kryteriów optymalizacji (m.in. maksymalna wydajność i minimalne koszty). [B33]. W pracy [B3], na podstawie uzyskanych wyników badań symulacyjnych, zaproponowano sposób modyfikacji modelu systemu masowej obsługi odwzorowującego współpracę maszyn. Umożliwiło to na zwiększenie wydajności zestawu maszyn i zwiększenie stopnia wykorzystania ich parametrów pracy.
- Identyfikacja ograniczeń oraz formalizacja matematyczna modelu zagadnienia projektowania układu tarcz deskowania ścian [B34]. Rozwiązano przykład problemu dla dwóch kryteriów optymalizacji. Zróżnicowanie wymiarów płyt oraz stosowanie elementów uzupełniających ułatwiają dostosowanie systemu do każdego typu obiektu i działki roboczej. Oznacza to konieczność wielokrotnego dobierania elementów do kształtu planowanej konstrukcji i wyboru wariantu najkorzystniejszego (najtańszego czy o najmniejszej pracochłonności). Próba oceny ekonomicznej zastosowania różnych systemów deskowań stropowych, przedstawiona w referacie [B49], dostarcza także wskazówek w zakresie organizacji wznoszenia wielokondygnacyjnych obiektów monolitycznych.

Do najważniejszych osiągnięć naukowo – badawczych z obszaru *Harmonogramowanie przedsięwzięć budowlanych* (oprócz cyklu artykułów [1 – 15], omówionego w punkcie 4 c) zaliczam:

- Modyfikacja opracowanego w ramach pracy doktorskiej systemu komputerowego do rozwiązania problemu jednokryterialnej optymalizacji harmonogramu realizacji przedsięwzięcia z alokacją zasobów o zmiennej w czasie dostępności [B1, B40]. W artykule [B1] opracowano również sposób wykorzystania systemu do określania wielkości zapasów czasu: całkowitego i swobodnego.

- Podsumowanie badań realizowanych w ramach pracy doktorskiej nad projektowaniem struktury systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego [B19].
- Modyfikacja opracowanego w ramach pracy doktorskiej systemu komputerowego do rozwiązania problemu dwukryterialnej (czasowo-kosztowej) optymalizacji harmonogramu realizacji przedsięwzięcia z alokacją zasobów o zmiennej w czasie dostępności i wyborem wariantów technologiczno-organizacyjnych wykonania procesów [B16, B41, B42].
- Analiza możliwości zastosowań metod ewolucyjnych w harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych, stanowiąca podsumowanie i kontynuację pracy doktorskiej [B7].
- Formalizacja matematyczna modelu zagadnienia minimalizacji łącznych przestojów pracy brygad przy ciągłej realizacji procesów na działkach roboczych [B15]. Rozwiązanie zagadnienia – ustalenie optymalnej kolejności zajmowania obiektów czy działek, jest tożsame ze znalezieniem najkrótszego cyklu Hamiltona, obejmującego wszystkie wierzchołki grafu (obiekty). Do rozwiązania problemu zaproponowano algorytm węgierski (dokładny) oraz algorytm włączania (heurystyczny), analizując ich przydatność praktyczną.
- Analiza założeń metody *PERT* dotyczących typu i parametrów rozkładu czasów realizacji procesów, niezależności zmiennych losowych i metodyki analizy w funkcji czasu modelu sieciowego i ich wpływ na oszacowanie czasu realizacji przedsięwzięcia przy ustalonym poziomie prawdopodobieństwa dotrzymania terminu zakończenia przykładowego przedsięwzięcia budowlanego [B22, B45]. Opracowano model sieciowy przedsięwzięcia budowlanego obejmującego swym zakresem modernizację budynku niepodpiwniczonego o konstrukcji słupowo-ramowej, w części dwukondygnacyjnego. Analizę modelu w funkcji czasu przeprowadzono stosując metodę *PERT* oraz symulację Monte Carlo, co pozwoliło na ocenę prawidłowości założeń.
- Zastosowanie metod redukcji wariancji w celu zmniejszenia błędu standardowego średniej arytmetycznej estymowanego czasu realizacji przedsięwzięcia w badaniach symulacyjnych modeli sieciowych metodą Monte Carlo [B23, B30]. Przeprowadzono pilotażowe badania na testowych modelach sieciowych przedsięwzięć budowlanych w celu oszacowania skuteczności redukcji wariancji

średniej terminu realizacji przedsięwzięcia za pomocą metody LHS oraz losowania przeciwstawnego [B23], a także Quasi-Monte Carlo oraz losowania warstwowego [B30].

- Opracowanie modelu matematycznego zagadnienia wyrównania zapotrzebowania na zasoby odnawialne z funkcją celu minimalizującą „szczyty” w zatrudnieniu [B31]. Udowodniono tezę, że lepsze wykorzystanie zasobów jest możliwe nie tylko poprzez ustalanie terminu realizacji procesów niekrytycznych w przedziale od terminów najwcześniejszych do najpóźniejszych, ale także poprzez zastosowanie zmiennej w czasie intensywności realizacji procesów niekrytycznych o drugorzędym znaczeniu.
- Propozycja analitycznego sposobu wyznaczania wielkości opóźnień (buforów czasu) we włączaniu kolejnych brygad (ciągów organizacyjnych) przy harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych obejmujących procesy powtarzalne na działkach roboczych [B38, B50]. Założono, że czasy realizacji procesów – podobnie jak w metodzie PERT – są zmiennymi losowymi, których parametry rozkładu są określane na podstawie oszacowań czasu pesymistycznego, optymistycznego oraz najbardziej prawdopodobnego.
- Modyfikacja założeń klasycznego zagadnienia przydziału z uwzględnieniem różnej kolejności realizacji procesów: równoczesnej, kolejnej i mieszanej (modelowanej za pomocą metod sieciowych) [B36]. Zaproponowano algorytmy rozwiązania opracowanych modeli, które mogą być stosowane w harmonogramowaniu procesów budowlanych.
- Budowa modelu matematycznego problemu harmonogramowania procesów powtarzalnych realizowanych przez brygady na niejednorodnych działkach roboczych w celu minimalizacji czasu realizacji przedsięwzięcia i zapewnienia ciągłości pracy jednostek organizacyjnych [B37]. Ze względu na zależność pomiędzy tymi dążeniami (sprzeczność celów optymalizacji), problem rozpatrywano jako dwukryterialne zagadnienie optymalizacji i poszukiwania rozwiązań kompromisowych.

Po doktoracie opublikowałem łącznie:

- 2 współautorskie monografie,
- 3 rozdziały w monografiach (1 w języku angielskim),

- 7 artykułów w czasopiśmie z bazy JCR (+ 1 przyjęty do druku),
- 42 artykułów w pozostałych czasopiśmie (w tym 14 w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym w języku angielskim, 28 w polskich),
- 13 referatów w materiałach konferencji naukowych (7 zagranicznych i 6 krajowych).

W Tabeli 1 zestawiono opublikowane prace w ujęciu sumarycznym. W nawiasie podano liczbę prac jednoautorskich.

Tabela 1. Zestawienie opublikowanych prac w ujęciu sumarycznym

Lp.	Rodzaj publikacji	Liczba publikacji przed doktorem	Liczba publikacji po doktoracie			Łączna liczba publikacji
			Cykl	Pozostałe	Razem	
1	Artykuły w czasopiśmie z bazy JCR	—	5 (1)	3	8 (1)	8 (1)
2	Monografie w j. polskim	1	—	2	2	3
3	Rozdziały w monografiach w j. polskim	—	—	2 (1)	2 (1)	2 (1)
4	Rozdziały w monografiach w j. angielskim	—	1 (1)	—	1 (1)	1 (1)
5	Pozostałe artykuły w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym w j. angielskim	—	4	10 (1)	14 (1)	14 (1)
6	Artykuły w j. polskim	20 (7)	6 (1)	22 (4)	28 (5)	48 (12)
7	Referaty w materiałach konferencji międzynarodowych w j. angielskim	1	—	7 (1)	7(1)	8(1)
8	Referaty w materiałach konferencji polskich	6 (1)	—	6	6	12 (1)
9	Razem	28 (8)	16 (3)	52 (7)	68 (10)	96 (18)

Łączny impact factor moich publikacji w bazie Web of Science (tabela 2) wynosi 16,159 (+ 1,053 artykuł przyjęty do druku), liczba cytowań 56, a h-index jest równy 4. Liczba cytowań wg bazy Scopus wynosi 100, a h-index 5. Według bazy Google Scholar liczba cytowań wynosi 246, a h-index jest równy 7.

Tabela 2. Publikacje w bazie Web of Science

Lp.	Czasopismo / materiały konferencyjne	Oznaczenie pracy w wykazie	Rok wydania artykułu	Impact factor	Punktacja MNiSW (2014 r.)
1	Journal of Business Economics and Management	2	2008	3,866	25
2	Automation in Construction	4	2010	1,311	40
3	Technological and Economic Development of Economy	8	2011	5,605	35
4	Technological and Economic Development of Economy	13	2012	3,224	35
5	Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability	15	2015	0,505	15
6	Journal of Construction Engineering and Management	B1	2006	0,676	25
7	Inżynieria Ekonomiczna – Engineering Economics	B2	2014	0,972	20
8	Baltic Journal of Roads and Bridge Engineering	B3	2015 (zaakceptowany)	1,053	25
9	Procedia – Social and Behavioral Sciences	B27	2012	–	10
10	8 th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques, 19–21 May 2004, Vilnius, Lithuania, p. 199–209 (proceedings)	B40	2004	–	10
Razem				17,212	240

5.4. Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

Wyniki moich badań prezentowałem również – w formie referatów – na konferencjach polskich i zagranicznych. Przed doktoratem brałem udział w 6 konferencjach krajowych, po doktoracie w 6 krajowych i 10 zagranicznych.

W latach 2009 – 2011 kierowałem realizacją projektu badawczego: „Projektowanie odpornych harmonogramów budowlanych w oparciu o wieloatrybutową ocenę wpływu warunków realizacyjnych” (projekt finansowany przez MNiSW, N N506 254637).

Byłem również generalnym wykonawcą projektu badawczego nr 7 T07E 011 17 pt.: „Zastosowanie koncepcji organizacji wirtualnej do projektowania systemu

zarządzania przedsięwzięciem inwestycyjno-budowlanym” (grant KBN, 2000 r., Kierownik projektu – dr inż. Anna Sobotka) oraz w latach 2011 – 2013 wykonawcą projektu N N506 212440: „Zastosowanie koncepcji zarządzania łańcuchami dostaw (SCM) w przedsięwzięciach budownictwa drogowego” (Kierownik projektu – prof. dr hab. inż. Anna Sobotka).

Przy realizacji grantów współpracowałem z Zentrum für Logistik und Unternehmensplanung w Berlinie (Prof. H. Baumgarten) oraz Uniwersytetem w Rostocku (oddział w Wismarze; Fachbereich Bauingenieurwesen, Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb; Prof. Dr. habil. W. Schäfer) – tygodniowy staż w 2000 r., oraz ze School of Environment and Technology, Faculty of Science and Engineering, University of Brighton – staż dwutygodniowy w 2011 r.

Jestem członkiem następujących organizacji i stowarzyszeń naukowych:

- EURO 'Association of European Operational Research Societies' (within IFORS, the 'International Federation of Operational Research Societies'); EURO Working Group OR in Sustainable Development and Civil Engineering.
- Gnedenko e-Forum (International Group on Reliability).
- Sekcja Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk (od 2007 r.).

Byłem recenzentem 16 artykułów, powołanym przez redakcje czasopism indeksowanych w bazie Journal Citations Reports (Journal of Civil Engineering and Management, Technological and Economic Development of Economy, International Journal of Computational Intelligence Systems, Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, International Journal of Civil Engineering), opracowałem ponadto 5 recenzji artykułów z czasopisma Journal of Civil Engineering and Architecture oraz 1 recenzję artykułu z czasopisma Archives of Civil Engineering.

Za działalność naukową uzyskałem następujące nagrody i wyróżnienia:

- Wyróżnienie przez Głównego Inspektora Pracy w konkursie na prace naukowo-badawcze z dziedziny ochrony pracy – 1999 r. (za współautorską monografię „Ergonomia w budownictwie”).
- Nagroda zespołowa Ministra Infrastruktury za współautorską publikację pt. „Zarządzanie w budownictwie. Organizacje, procesy, metody” (19 IV 2004 r.).

- Nagroda Ministra Infrastruktury za pracę doktorską pt. „Metoda projektowania struktury systemu wykonawczego przedsięwzięcia budowlanego” (22 IV 2005 r.).
- Nagroda zespołowa Ministra Infrastruktury za publikację pt. „Metody i modele w inżynierii przedsięwzięć budowlanych” (12 V 2008 r.).
- Nagroda II stopnia Rektora PL za osiągnięcia w działalności naukowej (1 X 2004 r.).
- Nagroda II stopnia indywidualna Rektora PL za działalność naukową (1 X 2006 r.).
- Nagroda II stopnia zespołowa Rektora PL za działalność naukową (1 X 2013 r.).

