

Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Lądowej
Katedra Zarządzania w Budownictwie

ROZPRAWA DOKTORSKA

pod tytułem:

METASIECIOWE UJĘCIE KOMUNIKACJI MIĘDZY UCZESTNIKAMI PRZEDSIĘWZIĘCIA BUDOWLANEGO

mgr inż. Ewelina Kania

Promotor:

Prof. dr hab. inż. Elżbieta Radziszewska-Zielina

Promotor pomocniczy:

Dr inż. Grzegorz Śladowski

Kraków 2022

*„Nauka jest jak niezmierne morze.
Im więcej jej pijesz, tym bardziej jesteś spragniony.”*
Stefan Żeromski

Składam serdeczne podziękowanie
Pani Prof. dr hab. inż. Elżbiecie Radziszewskiej-Zielinie oraz
Panu Dr inż. Grzegorzowi Śladowskiemu
za okazaną cierpliwość, cenne wskazówki, poświęcony czas i atmosferę
sprzyjającą pracy naukowej.

Podziękowanie kieruję również ku tym wszystkim, którzy
w jakikolwiek sposób przyczynili się do powstania niniejszej rozprawy.

Pragnę wyrazić mą wdzięczność bliskim i przyjaciołom za otuchę
i nieustanną motywację w dążeniu do wyznaczonego celu.

Rozprawę dedykuję moim rodzicom.

Spis treści

Definicje podstawowych pojęć stosowanych w pracy	5
1. Wprowadzenie.....	7
1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu pracy	7
1.2. Cele i tezy pracy.....	11
1.3. Schemat i zakres pracy	12
2. Analiza stanu badań w zakresie komunikacji w budownictwie – przegląd literatury	15
2.1. Pojęcia związane z komunikacją w przedsięwzięciu budowlanym.....	15
2.2. Komunikacja jako czynnik wpływający na koszt realizacji robót przedsięwzięcia budowlanego	21
2.3. Wpływ komunikacji na czas realizacji robót przedsięwzięcia budowlanego	33
2.4. Komunikacja będąca czynnikiem wpływającym na jakość realizacji robót przedsięwzięcia budowlanego.....	36
2.5. Wpływ komunikacji na bezpieczeństwo i higienę pracy na budowie	39
2.6. Związek komunikacji z partnerstwem w przedsięwzięciu budowlanym	43
2.7. Komunikacja jako czynnik wpływający na logistykę w realizacji budowy	46
2.8. Aspekty formalnej i samoorganizującej się komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym	48
2.9. Przeciążenie informacyjne w ramach realizacji budowy	53
2.10. Zarządzanie komunikacją w przedsięwzięciu budowlanym oraz metody jej oceny	55
2.11. Komputerowe wspomaganie komunikacji.....	65
2.12. Podsumowanie przeglądu literatury.....	74
3. Badania własne dotyczące komunikacji w polskich przedsięwzięciach budowlanych ...	76
3.1. Badania ankietowe na temat istoty komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych.....	76
3.1.1. Opis badań.....	76
3.1.2. Wyniki badań	78
3.1.3. Badanie zgodności opinii respondentów	88
3.1.4. Podsumowanie badań ankietowych.....	90
4. Podejście sieciowe w analizie komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym.....	91
4.1. Sieciowy charakter komunikacji.....	91
4.2. Analiza samoorganizujących się sieci komunikacji w budownictwie za pomocą metody Social Network Analysis (SNA)	92

4.3.	Potencjał metasieci do modelowania i analizy komunikacji w przedsiębiorstwach budowlanych	100
5.	Autorska metoda planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego	103
5.1.	Definicja metasieci	103
5.2.	Miary strukturalne modelu	105
5.3.	Idea planowania i monitorowania komunikacji.....	112
5.4.	Budowa modelu sieciowego komunikacji.....	115
5.5.	Model optymalizacyjny komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego	116
5.6.	Analiza wpływu komunikacji na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia budowlanego	120
6.	Przykłady zastosowania opracowanej metody	125
6.1.	Charakterystyka przedsięwzięcia budowlanego	125
6.2.	Zebrań danych.....	130
6.3.	Budowa modelu i jego analiza.....	131
6.3.1.	Analiza strukturalna metasieci omawianego przedsięwzięcia	131
6.3.2.	Optymalizacja komunikacji wraz z analizą czasowo-kosztową	141
6.4.	Omówienie otrzymanych wyników	158
7.	Podsumowanie.....	160
7.1.	Wnioski	160
7.2.	Osiągnięcia metodyczne	161
7.3.	Osiągnięcia praktyczne.....	162
7.4.	Kierunki dalszych badań	163
	Bibliografia	165
	Streszczenie	189
	Abstract.....	192
	Załącznik I	195
	Załącznik II	215
	Załącznik III.....	219

Definicje podstawowych pojęć stosowanych w pracy

Komunikacja pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego to przekazywanie oraz wymiana informacji związanych z tym przedsięwzięciem w celu koordynacji i wykonania prac budowlanych na potrzeby osiągnięcia wyznaczonych celów (Liu 2009).

Efektywna komunikacja wymaga jasno sprecyzowanej informacji, przekazywanej bez zwłoki oraz zdefiniowanych kanałów komunikacyjnych, umożliwiających przepływ informacji (Pellicer, Yepes, Teixeira, Moura, Catalá 2008). W tym kontekście optymalizacja liczby kanałów komunikacyjnych (poprzez ich minimalizację), przy utrzymaniu dostępu do wszystkich niezbędnych informacji, wpływa na poprawienie efektywności komunikacji.

Formalna komunikacja – struktura kanałów komunikacyjnych, wynikająca z formalnej struktury organizacyjnej określonej w umowie (jeśli takowa jest w niej określona) lub z innych dokumentów odniesienia stosowanych w danym przedsięwzięciu budowlanym (np. FIDIC).

Samoorganizująca się sieć komunikacji – zdolność organizacji do strukturyzowania samej siebie, ewaluowania, tworzenia nowej struktury sieci komunikacji, uczenia się i różnicowania (Meadows 2020). Dynamiczna, ukryta, rzeczywista sieć relacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego, która powstaje w wyniku utworzenia się preferowanych przez nich kanałów komunikacyjnych na potrzebę realizacji celów przedsięwzięcia

Kanał komunikacyjny (połączenie komunikacyjne) – to połączenie pozwalające na komunikację pomiędzy dwoma uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego w celu wymiany informacji. Każdy przekaz wysyłany jest przez nadawcę informacji oraz odbierany przez adresata wiadomości. Połączenie takie może być jednokierunkowe lub dwukierunkowe. Kanał komunikacyjny posiada kierunek i zwrot. Kanały komunikacyjne w ramach przedsięwzięcia budowlanego, mogą być zarówno formalne jak i utworzone w ramach samoorganizacji się sieci komunikacji takiego przedsięwzięcia (Thomas, Tucker, Kelly 1998)

Uczestnicy przedsięwzięcia budowlanego - w ramach rozprawy doktorskiej będą przywołani w Prawie budowlanym (Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane): inwestor, inspektor nadzoru inwestorskiego, projektant, kierownik budowy, kierownik

robót, a także wszystkie pozostałe jednostki i organizacje biorące czynny udział w przedsięwzięciu budowlanym, np. kierownicy projektu, inżynierowie budowy, geodeci, logistycy, asystenci projektanta, przedsiębiorstwa wykonawcze i ich przedstawiciele itp.

Zadania – rozumiane jako zakres czynności, działań i aktywności niezbędnych do realizacji wyznaczonego celu przedsięwzięcia budowlanego (np. roboty budowlane, zamówienia materiałów, odbiory robót). W kontekście przedstawionego w rozprawie przykładu jako zadania przyjęte zostały roboty budowlane.

Wiedza – w odniesieniu do przedsięwzięć budowlanych, wiedza może być ujmowana w wielu aspektach, np. technologicznym, zasobowym, finansowym, organizacyjnym. Do realizacji procesów budowlanych niezbędna jest odpowiednia wiedza. Wiedza ta pozyskiwana jest z dokumentów, norm, przepisów prawa, a przede wszystkim z doświadczeń związanych z realizowanymi przedsięwzięciami budowlanymi. Poziom wiedzy i jej zakres ulegają ciągłym zmianom. Z jednej strony wiedza jest rozwijana oraz wzbogacana o nowe doświadczenia, pomysły i innowacje, z drugiej strony część wiedzy w naturalny sposób zanika. Przyczyną tego zjawiska jest duża fluktuacja kadry, brak archiwizacji zdarzeń oraz starzenie się wiedzy z powodu ciągle zmieniających się przepisów prawa (Hoła, Polak, Gawron, Sawicki, Gronowicz 2012). W kontekście przedstawionego przykładu, w rozprawie doktorskiej jako źródła wiedzy wykorzystano dokumenty funkcjonujące w ramach analizowanego przedsięwzięcia (np. projekt budowlany, projekty wykonawcze, operaty geodezyjne, protokoły zmian lokatorskich).

1. Wprowadzenie

1.1. Uzasadnienie podjęcia tematu pracy

Przedsięwzięciem budowlanym określamy działanie inwestycyjne podjęte w celu zaspokojenia potrzeb inwestora oraz późniejszych użytkowników obiektu. Przedsięwzięcie budowlane obejmuje prace przygotowawcze, organizacyjne i realizacyjne robót budowlanych, rozliczenie budowy oraz oddanie gotowego obiektu do eksploatacji (Kasprowicz 2010). Skuteczność realizacji celów przedsięwzięcia wymaga efektywnego nim zarządzania.

Pojęcie zarządzania w kontekście budownictwa jest różnie definiowane w literaturze. Definicja opracowana przez Chartered Institute of Building (CIOB) z Wielkiej Brytanii w 1979 r. wskazuje, że zarządzanie przedsięwzięciem inwestycyjnym można określić jako „kompleksowe planowanie, koordynowanie i kontrolowanie projektu od fazy koncepcyjnej, poprzez przygotowanie, realizację, po ukończenie, którego celem jest wypełnienie wymogów klienta dla potrzeb stworzenia funkcjonalnie i finansowo wykonalnego projektu, ukończonego terminowo i zgodnie z wymaganiami i normami jakościowymi” (Sobieraj 2015). Stokes i Akram (2008) definiują zarządzanie – w tym kontekście w odniesieniu do terminologii PRINCE2 – jako „planowanie, monitorowanie i kontrolowanie wszystkich aspektów przedsięwzięcia inwestycyjnego, i motywowanie wszystkich jego uczestników w celu osiągnięcia celów projektu w terminie, zgodnie z ustalonym kosztem, jakością i wykonaniem”.

Czarnigowska i Sobotka (2011) definiują natomiast efektywne zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym jako nieustanne monitorowanie przebiegu procesów budowlanych oraz podejmowanie właściwych decyzji i ich wdrażanie. Istotę sterowania stanowi interwencja dokonywana w trakcie trwania procesu z możliwością wykorzystywania bieżących obserwacji, w tym właściwego reagowania na zmiany w otoczeniu.

Bogusz, Połoński i Pruszyński (2018) stwierdzają, że zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym oznacza kierowanie nim od pomysłu do ostatecznego zakończenia, dostosowanie go do rzeczywistości, a także zarządzanie środkami i ludźmi w trakcie różnych faz przedsięwzięcia, począwszy od planowania aż do jego zakończenia. Zauważają oni jednak, że bardzo często zarządzanie przedsięwzięciem ogranicza się do etapu planowania, co nie zawsze gwarantuje osiągnięcie oczekiwanego efektu i nie przeciwdziała wymykaniu się spod kontroli realizacji projektu. Autorzy (Bogusz,

Połośki, Pruszyński 2018) wskazują, że aby temu zapobiec, niezbędne jest stworzenie narzędzi obejmujących całość koniecznych działań: koncepcyjnych, planistycznych, wykonawczych, kontrolnych itp., zbudowanych na mniej lub bardziej sformalizowanych zasadach i procedurach oraz zorganizowanych w jeden spójny proces, realizowany w odpowiednich dla konkretnych warunków ramach organizacyjnych, co umożliwi wspomaganie zarządzania przedsięwzięciem.

W pracy (Sobieraj 2015) autor, analizując zarządzanie przedsięwzięciem inwestycyjnym w budownictwie, wymienia 23 obszary, którymi w ramach tego przedsięwzięcia należy zarządzać, czyli zarządzanie: integracją, zakresem, czasem, kosztami, jakością w projekcie, zasobami ludzkimi, ryzykiem, zamówieniami, strategiczne, zmianami, konfiguracją, finansami, budową, wiedzą, wartością, bezpieczeństwem i ochroną zdrowia w budownictwie, formami graficznymi, interesariuszami, dokumentacją projektową, zasobami, ochroną środowiska i zrównoważonym rozwojem, operacyjne oraz komunikacją. Jednocześnie zauważa, że konieczne jest rozwijanie metod wspomagających zarządzanie tymi zakresami.

Aktualnie wśród zagadnień naukowych w ramach inżynierii przedsięwzięć budowlanych bardzo prężnie rozwijana jest tematyka wspomagania zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi i to w każdym możliwym aspekcie tego procesu. Zauważyć jednak należy, że w literaturze powstaje wiele modeli w zakresie wspomagania przedsięwzięciami, np. w zarządzaniu czasem, kosztem, zasobami czy ryzykiem (np. Rogalska, Bozejko, Hejducki 2008; Skorupka 2009; Radziszewska-Zielina, Sroka 2017; Jaśkowski, Sobotka, Czarnigowska 2018; Śladowski 2021), brakuje niestety modeli wspomagających zarządzanie komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego, które jest stosunkowo trudnym zagadnieniem. Komunikacja w środowiskach opartych na przedsięwzięciach niesie ze sobą bowiem wyjątkowe wyzwania. Branża budowlana, przy obecnej konieczności poprawy wydajności spowodowanej szybko zachodzącymi jednocześnie procesami projektowania i realizacji, jest do pewnego stopnia zależna od skutecznej komunikacji między osobami, zespołami i organizacjami. Przedsięwzięcie budowlane jako tymczasowa organizacja o interdyscyplinarnym charakterze, stworzona do realizacji określonych celów w wyznaczonym czasie, wymaga sprawnej komunikacji między jej uczestnikami, co w powyższych warunkach nie jest łatwe do osiągnięcia (Dainty, Moore, Murray 2006). Sama liczba zainteresowanych stron zaangażowanych w procesy podejmowane w trakcie realizacji przedsięwzięcia budowlanego sprawia, że relacje komunikacyjne

są wyjątkowo złożone i ulegają zmianom, co podkreśla dynamiczny charakter tej komunikacji.

Wielu autorów (Den Otter, Emmitt 2007; Norouzia, Shabakb, Bin Embic, Khand 2015; Pryke 2017; Olanrewaju, Tan, Kwan 2017; Pryke, Badi, Almadhoob, Sunadraj, Addyman 2018; Radziszewska-Zielina, Śladowski, Kania, Sroka, Szewczyk 2019; Trach, Lendo-Siwicka 2021) podejmuje problematykę komunikacji w budownictwie, zajmując się skutecznością komunikacji i badając praktyki komunikacyjne w przedsiębiorstwach budowlanych. Jednocześnie autorzy (Dainty, Moore, Murray 2006) wskazują, że złożoność i dynamizm struktury przedsięwzięć w branży budowlanej grozi podważeniem możliwości stosowania wielu podstawowych zasad skuteczności praktyk komunikacyjnych, które zostały z powodzeniem zastosowane w innych sektorach. W rzeczywistości tylko niektóre praktyki zarządzania, które rozwinęły się w odpowiedzi na typowe dla budownictwa warunki strukturalne, zrobiły cokolwiek, aby stworzyć otwarte środowisko komunikacyjne zapewniające połączoną pracę zespołową, integrację procesów i poprawę efektywności.

Większość publikacji dotycząca tematyki komunikacji w budownictwie skupia się na wskazywaniu jej istotności podczas procesu budowlanego, gdyż pozytywnie wpływa ona na: czas, koszt, jakość realizacji przedsięwzięcia (Chiu 2002; Meng 2012; Cheung, Yiu, Lam 2013; Demirkesen, Ozorhon 2017; Yap, Skitmore 2020), bezpieczeństwo i higienę pracy (Alsamadani, Hallowell, Javernick-Will 2013; Gao, Chan, Utama, Zahoor 2016; Li, Ji, Yuan, Han 2017; Marín, Roelofs 2017; Zamani, Banihashemi, Abbasi 2020), partnerstwo w przedsięwzięciu budowlanym (Black, Akintoye, Fitzgerald 2000; Cheng, Li 2002; Radziszewska-Zielina 2011; Radziszewska-Zielina, Szewczyk 2014b) i logistykę (Sobotka 2005; Szymczak 2013; Książkiewicz, Mierkiewicz 2015; Zheng, Tetik, Törmä, Peltokorpi, Seppänen 2020). Istnieje również grupa badań poruszająca kwestię negatywnego wpływu braku komunikacji, powodującego zmiany projektowe (Love, Li, Mandal 1999a; Hwang, Thomas, Haas, Caldas 2009; Kamalirad, Kermanshachi, Shane, Anderson 2017; Yap, Abdul-Rahman, Wang 2017a; Safapour, Kermanshachi, Taneja 2019) oraz opóźnienia w realizacji prac (Leśniak, Plebankiewicz 2010; Grzyl, Apollo 2013; Larsen, Shen, Lindhard, Brunoe 2015; Berenger, Justus 2016; Wang, Ford, Chong, Zhang 2018; Durdyev, Hossein 2019).

W pracach (Chinowsky, Taylor, Di Marco 2011; Pryke, Badi, Almadhoob, Sunadraj, Addyman 2018) autorzy zwracają uwagę, że niezbędne jest opracowanie podejścia umożliwiającego optymalizację komunikacji z perspektywy szybkiej

i skutecznej wymiany informacji w przedsięwzięciach budowlanych. Zauważyli oni, że nadmiar komunikacji jest równie niekorzystny jak jej niedobór. Opracowany model powinien umożliwiać monitorowanie bieżącej komunikacji w przedsięwzięciu, aby zidentyfikować nieefektywny przepływ informacji i dokonać stosownych interwencji w celu jego poprawy.

W wyniku przeprowadzonych badań ankietowych uzyskano opinie praktyków w branży budowlanej w Polsce. Okazało się, że istnieje potrzeba poprawy komunikacji, zwłaszcza ze względu na ilość czasu, jaki jest na nią poświęcany (Kania, Radziszewska-Zielina, Śladowski 2020). Praktycy wykazali zainteresowanie podejściem, które mogłoby w efektywny sposób wspomagać zarządzanie komunikacją w ramach realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Brakuje zatem metod, które skutecznie wspomogłyby poprawę efektywności komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym, zwłaszcza na etapie realizacji budowy.

Ze względu na fakt, że zagadnienie zarządzania komunikacją oraz wspomaganie zarządzania przedsięwzięciem budowlanym, zgodnie z opracowaniami (Kasproicz 2007; Radziszewska-Zielina 2021), znajduje się w obszarach badawczych budownictwa w specjalności inżynieria przedsięwzięć budowlanych, autorka niniejszej pracy zdecydowała się na opracowanie podejścia umożliwiającego efektywne planowanie i monitorowanie komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.

Podejście to wspomagać będzie zarządzanie komunikacją w trakcie realizacji całego procesu inwestycyjnego, ze szczególnym naciskiem na etap realizacji budowy. Zaproponowano, aby planowanie i monitorowanie komunikacji było dokonywane z perspektywy jej wpływu na czas i koszt jako podstawowych parametrów przedsięwzięcia budowlanego.

Zaproponowane w pracy podejście do modelowania i analizy komunikacji w budownictwie wykorzystuje teorię sieci, która wydaje się być odpowiednia dla tego typu problemów. W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele badań wykorzystujących do tego celu popularną metodę analizy sieci społecznych (ang. *Social Network Analysis*) (np. Loosemore 1998; Pryke 2012; Chinowsky, Taylor 2012; Xue, Zhang, Wang, Fan, Yang, Dai 2018). Jednakże zastosowanie sieci jednomodowych do mapowania jedynie relacji pomiędzy uczestnikami procesu nie pozwala na identyfikację bezpośrednich czynników, które determinują komunikację w przedsięwzięciu budowlanym. Wpływ na komunikację mają między innymi takie czynniki jak np. formalna struktura organizacyjna przedsięwzięcia, harmonogram robót, identyfikacja wiedzy potrzebnej

do realizacji zadań, której wymiana pomiędzy uczestnikami determinuje charakter tej komunikacji.

Aby rozwiązać ten problem, autorka pracy zdecydowała się wykorzystać do tego celu sieci wielomodowe, a konkretnie metasieci (ang. *meta – network*) (Krackhardt, Carley 1998). Heterogeniczny charakter tych sieci wykorzystywano w wielu dziedzinach, a od niedawna również w budownictwie, zwłaszcza w kontekście zarządzania ryzykiem w przedsięwzięciach budowlanych (Zhu 2016; Zhu, Mostafavi 2017; Śladowski 2021). **Zaproponowane w niniejszej pracy metasieciowe ujęcie komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego rozwiązuje wyżej wymienione problemy i ograniczenia, a implementacja komputerowa opracowanej metody pozwala na zautomatyzowanie procesu obliczeniowego.**

Całość opracowania została poparta przykładem praktycznego zastosowania proponowanej metody jako narzędzia wspomagającego planowanie i monitorowanie komunikacji w trakcie realizacji budowy osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego Bytkowska Park w mieście Katowice w Polsce.

Analiza otrzymanych wyników i wyciągnięte wnioski potwierdziły potencjał aplikacyjny wyżej wymienionego podejścia.

1.2. Cele i tezy pracy

Cel główny pracy:

Opracowanie podejścia do planowania i monitorowania komunikacji między uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego z wykorzystaniem teorii metasieci.

Cele cząstkowe pracy:

1. Analiza stanu wiedzy w zakresie komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych oraz wspomagania zarządzania komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.
2. Opracowanie modelu optymalizacyjnego na potrzeby efektywnego planowania komunikacji między uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.
3. Opracowanie sposobu analizy wpływu komunikacji na czas i koszt przedsięwzięcia budowlanego.
4. Implementacja komputerowa opracowanego podejścia do planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.

W ramach realizacji celu głównego oraz celów cząstkowych wykorzystano następujące metody i narzędzia:

- **przegląd literatury** do zbadania stanu dotychczasowej wiedzy dotyczącej analizowanego tematu,
- **metoda ankiety** do zebrania opinii ekspertów na temat komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym, problemów wynikających ze słabej komunikacji, wpływu skutecznej komunikacji na sukces przedsięwzięcia oraz opracowania metody wspomagającej zarządzanie komunikacją między uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego,
- **metoda korelacji rang** z zastosowaniem wskaźnika konkordancji (ang. *concordance coefficient*) Kendalla do oceny zgodności opinii ekspertów,
- **teoria metasieci** do modelowania i analizy strukturalnej komunikacji między uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego,
- **metoda ścieżki krytycznej CPM** (ang. *Critical Path Method*) do określenia charakterystyk czasowych realizacji przedsięwzięcia budowlanego,
- **programowanie matematyczne** do optymalizacji ścieżek komunikacji w modelu sieciowym w aspekcie jej efektywności,
- **język programowania Python** do implementacji komputerowej opracowanych algorytmów,
- **biblioteka NumPy** do prowadzenia obliczeń w ramach rachunku macierzowego.

W rozprawie doktorskiej sformułowano następujące tezy:

- **Zaproponowane podejście optymalizacyjne do planowania komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych likwiduje nadmiarową liczbę kanałów komunikacyjnych, co stanowi podstawę do wprowadzenia efektywnej komunikacji między uczestnikami tych przedsięwzięć.**
- **Opracowane metasieciowe ujęcie komunikacji umożliwia ilościową ocenę jej wpływu na czas i koszt realizacji przedsięwzięć budowlanych.**

1.3. Schemat i zakres pracy

Praca składa się z siedmiu rozdziałów.

W **rozdziale 1** przedstawiono uzasadnienie podjęcia tematu, sformułowano tezę badawczą oraz cel główny pracy wraz z celami cząstkowymi. Zaprezentowany został zakres pracy doktorskiej i jej schemat.

Rozdział 2 stanowi przegląd stanu wiedzy w zakresie omawianego problemu badawczego. Przedstawione zostały kluczowe zagadnienia dotyczące komunikacji. Omówiono wpływ komunikacji na czas, koszt, jakość realizacji robót, BHP, partnerstwo i logistykę w przedsięwzięciu budowlanym. Przedstawiono aspekty formalnej i samoorganizującej się komunikacji. Wskazano skutki przeciążenia informacyjnego. Zaprezentowano systemy komputerowego wspomaganie komunikacji oraz dotychczasowe metody zarządzania komunikacją między uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.

W **rozdziale 3** przedstawiono wyniki badań ankietowych dotyczących znaczenia komunikacji, jej wpływu na sukces przedsięwzięcia oraz zainteresowania potencjalnym, kompleksowym podejściem do planowania i monitorowania komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych. Respondentami w badaniach byli praktycy z branży budowlanej.

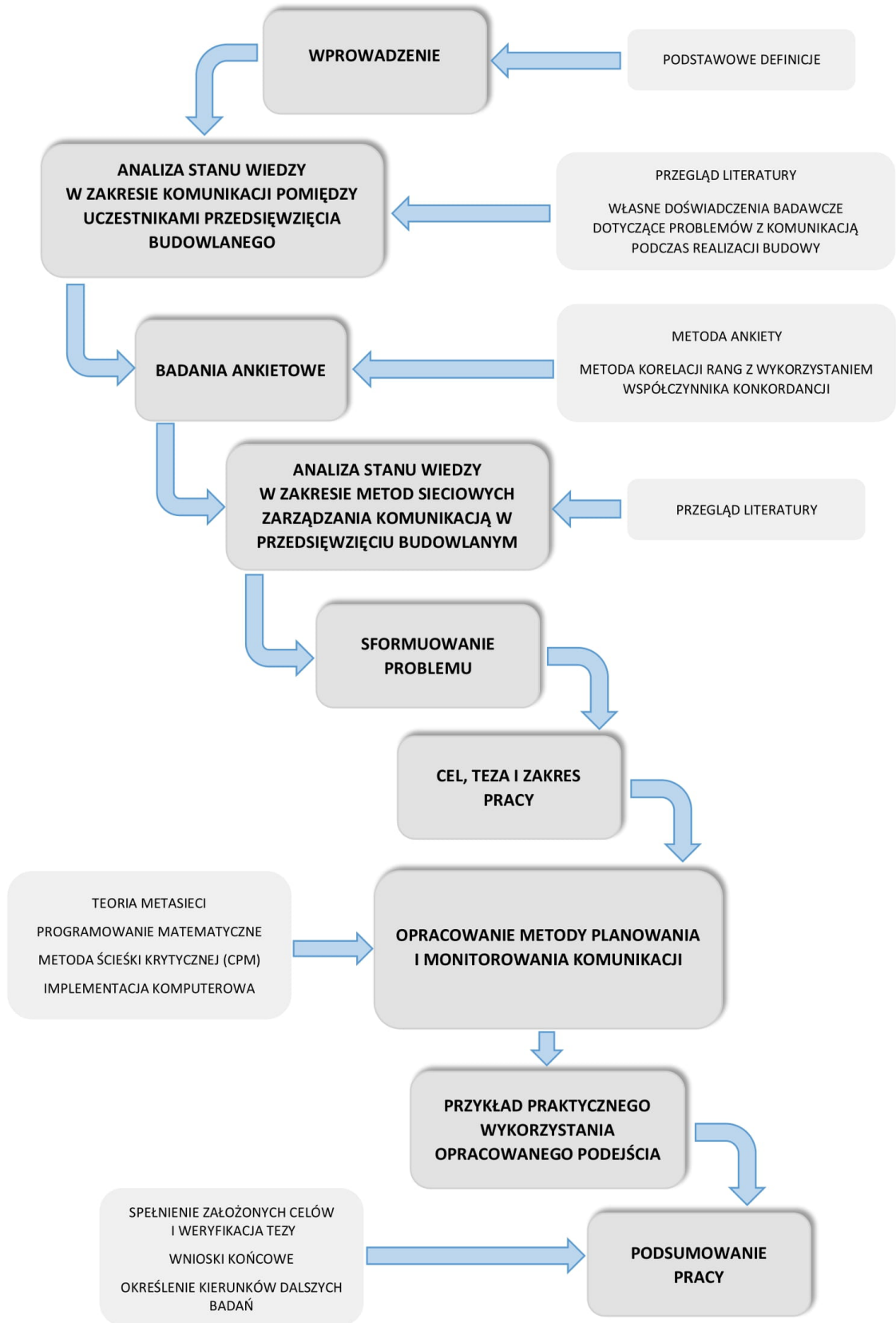
W **rozdziale 4** przeanalizowano dotychczasowy stan wiedzy na temat sieciowego podejścia do analizy przedsięwzięcia budowlanego w kontekście komunikacji. Przedstawione zostały ogólne zastosowania sieciowych metod analizy komunikacji między uczestnikami przedsięwzięć budowlanych ze szczególnym uwzględnieniem metody analizy sieci społecznych (SNA).

W **rozdziale 5** omówiono teorię metasieci wraz z jej miarami strukturalnymi, a następnie przedstawiono autorski model optymalizacyjny planowania i monitorowania komunikacji, wykorzystujący teorię metasieci. W dalszej części zaprezentowano analizę wpływu zaproponowanego modelu planowania i monitorowania komunikacji między uczestnikami procesu na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Na koniec rozdziału zwraca się uwagę na implementację komputerową modelu.

Rozdział 6 zawiera studium przypadku zastosowania zaproponowanego modelu na przykładzie realizacji budowy osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego Bytkowska Park w Katowicach.

Całość pracy zakończono **rozdziałem 7**, stanowiącym podsumowanie otrzymanych wyników w świetle postawionej tezy i celów. Rozdział ten zawiera także wnioski końcowe oraz wskazuje kierunki dalszych badań.

Na rysunku 1 przedstawiono graficznie schemat pracy.



Rys. 1. Schemat pracy. Opracowanie własne

2. Analiza stanu badań w zakresie komunikacji w budownictwie – przegląd literatury

2.1. Pojęcia związane z komunikacją w przedsięwzięciu budowlanym

Wraz z rozwojem przemysłu budowlanego procesy budowlane stają się coraz bardziej dynamiczną, złożoną działalnością, co zwiększa świadomość potrzeby lepszego zarządzania przedsięwzięciami w przemyśle budowlanym (Baldwin, Austin, Murray 1998). Fakt ten częściowo wynika ze stawiania przez klientów coraz wyższych wymagań pod względem technologii, efektywności, oszczędności i szybkości projektowania oraz realizacji. Często procesy projektowania i wykonawstwa prowadzone są równolegle w celu przyspieszenia czasu realizacji przedsięwzięcia budowlanego (Newton 1995; Austin, Baldwin, Newton 1996). Wzrasta nacisk inwestorów wywierany na projektantów w celu zapewnienia dokładnego przygotowania projektów oraz wydania ich na czas. Rośnie zależność generalnych wykonawców od podwykonawców, zwiększając tym samym złożoność realizacji. Jak zauważyli autorzy w pracy (Baldwin, Austin, Murray 1998), wymagające przedsięwzięcia budowlane potrzebują coraz większej liczby wyspecjalizowanych podwykonawców. Zmiany te sprawiają, że zarządzanie procesami projektowania budowlanego i wykonawstwa wymaga koordynacji wielu zorganizowanych zespołów, co stanowi poważne wyzwanie. Autor w pracy (Sonnenwald 1996) sugeruje, że komunikacja jest ważnym elementem współpracy w przedsięwzięciu budowlanym. Systemy komunikacji są „centralnym układem nerwowym” przedsięwzięcia, który umożliwia setkom ludzi realizowanie wielu zadań oraz koordynowanie ich wysiłków i umiejętności w kierunku osiągnięcia wspólnego celu (Guevara, Boyer 1981). Jest to wyjątkowo widoczne w przemyśle budowlanym (Anumba, Evbumwan 1999). Badania w ramach prac (Knoop, Breemen, Vergeest, Wieggers 1996; Thomas, Tucker, Kelly 1998) potwierdziły znaczenie komunikacji dla procesu projektowania i wyraźnie wskazały pozytywny związek między sukcesem w komunikacji i projektowaniem w budownictwie. Również Gajzler i Dziadosz (2014) stwierdzają, że w procesie realizacji przedsięwzięcia bardzo istotny jest przepływ informacji, od którego częstokroć zależy sukces przedsięwzięcia. Za pomocą przepływu informacji steruje się wszystkimi procesami – technologicznymi, organizacyjnymi. Przepływ informacji uruchamia również strumień środków finansowych. Wynika z tego, że przepływ informacji pełni istotną rolę w sterowaniu realizacją przedsięwzięcia.

Zdefiniowanie „komunikacji” jest trudne, gdyż jest to zjawisko wielowymiarowe – może mieć różnorodne znaczenia, konteksty i formy. Będzie więc przez to różnie interpretowane przez ludzi w danych sytuacjach. Znaczna ilość autorów zajmujących się tematem komunikacji przedstawia jej własną definicję. „Komunikacja” wywodzi się od łacińskich słów *communicare* i *communicatio* (przekazywanie informacji, porozumiewanie się), oznaczając na ogół dwukierunkowy przepływ informacji (Mruk 2004). Komunikacja jest to termin obejmujący takie znaczenia jak wiedza, przetworzone dane, umiejętności i technologia (Cheng, Li, Love, Irani 2001). W budownictwie informacja jest wyjątkowo zróżnicowana, biorąc pod uwagę ogromną liczbę stron zaangażowanych w prace budowlane. Komunikacja nie tylko odbywa się między pojedynczymi osobami, ale może również dotyczyć grup lub organizacji (Baguley 1994). Komunikacja może być też postrzegana jako proces transakcyjny, w którym coś jest wymieniane pomiędzy zaangażowanymi stronami (Eisenberg, Goodall 1993). W pracy (Den Otter, Prins 2002) autorzy stwierdzili, że komunikacja to proces wymiany informacji między nadawcą a odbiorcą w celu wyrównania informacji po obu stronach. Emmitt (2010) definiuje komunikację jako proces uzyskiwania wszystkich istotnych informacji, ich interpretacji i skutecznego rozpowszechniania wśród osób, które mogą ich potrzebować. Komunikacja ma zasadnicze znaczenie dla wszystkich stron zaangażowanych w przedsięwzięcie budowlane. Autorzy w pracy (Caltrans 2007) definiują komunikację w przedsięwzięciach jako wymianę informacji dotyczących konkretnego przedsięwzięcia, z naciskiem na tworzenie porozumienia między nadawcą a odbiorcą. Wskazują oni, że skuteczna komunikacja jest jednym z najważniejszych czynników przyczyniających się do sukcesu przedsięwzięcia. Określenie potrzeb informacyjnych zainteresowanych stron i odpowiedniego sposobu ich zaspokojenia stanowią ważne czynniki wpływające na sukces przedsięwzięcia. Należy zatem zidentyfikować uczestników przedsięwzięcia, określić ich potrzeby i oczekiwania, a następnie nimi zarządzać. Niektórzy badacze definiują komunikację jako proces obejmujący wymianę opinii, pomysłów i doświadczeń między uczestnikami przedsięwzięcia. W trakcie cyklu życia przedsięwzięcia budowlanego uczestnicy dołączają lub opuszczają zespół, tworzą lub likwidują kanały komunikacji (Liu 2009). Ayodele i Ayodele (2008) wskazali, że komunikacja w przedsięwzięciu budowlanym oznacza więcej niż uzyskiwanie informacji, zwracając uwagę, że informacje muszą być wiarygodne, wysłuchane przez odpowiednich ludzi i mają prowadzić do właściwej reakcji. Norouzia, Shabakb, Rashid Bin Embic i Khand (2015) potwierdzili,

że komunikacja to złożony proces, a w przypadku przedsięwzięć budowlanych jest to proces, który ostatecznie prowadzi do przekazania informacji istotnych dla przedsięwzięcia, zapewniając jego późniejszy sukces.

W przypadku branży budowlanej często występuje jednocześnie nadmiar różnorodnej komunikacji, co może prowadzić do chaosu informacyjnego (Onyegiri, Nwachukwu 2011). Wszystkie te szeroko zakrojone perspektywy komunikacji sugerują, że komunikacja polega zasadniczo na przekazywaniu informacji pomiędzy ludźmi. Stąd istotą komunikacji w większości przypadków jest to, że jedna osoba (lub zespół, organizacja itp.) życzy sobie, aby inna osoba otrzymała od nich informacje. Sugeruje to również, że komunikacja i przepływ informacji powinny być procesem dwukierunkowym. Nadawca informacji, otrzymując informację zwrotną, ma pewność, że do komunikacji rzeczywiście doszło. Komunikacja polega zatem na przekazywaniu komunikatów od jednej osoby i otrzymywanie (oraz skuteczne rozumienie) wiadomości przez innych w odpowiedzi (Torrington, Hall 1998). Komunikacja może obejmować rozmowy, słuchanie, zbieranie danych i informacji przy użyciu różnych mediów, od elektronicznych do tradycyjnych sposobów ich zdobycia (Dainty, Moore, Murray 2006). Sposoby, w jaki wiadomości te mogą być przekazywane, są wielowariantowe: mogą zawierać mowę, język ciała, pismo, nośniki graficzne lub elektroniczne bądź dowolną kombinację tych form. W zespołach, gdzie brakuje informacji zwrotnej lub jest ona opóźniona, według Talukhaba, Mutunga i Miruka (2011) wymagana jest interwencja w celu usprawnienia komunikacji. Osoby zarządzające projektem muszą stale monitorować i weryfikować powodzenie procesu komunikacji. Odbiorca informacji powinien potwierdzić jej zrozumienie, ponieważ bez zrozumienia komunikacja nie może być skuteczna. Według Zulch (2016) dotyczy to również przedsięwzięć budowlanych, gdzie nieefektywna komunikacja może prowadzić do nieporozumień. Niewłaściwie zdefiniowane zadania czy niepewność co do zakresu odpowiedzialności w ramach przedsięwzięcia budowlanego mogą prowadzić do niepowodzeń w jego realizacji.

Aby zapewnić efektywną komunikację w przedsięwzięciu budowlanym, konieczne jest zdefiniowanie również pojęcia „skutecznej komunikacji”. Według Zulch (2014) komunikacja jest skuteczna, gdy osiąga założone cele. Autor wspomina o zasadniczej roli informacji zwrotnej, zrozumieniu znaczenia przekazu i zdobyciu pewności, że dotrze ona na czas do docelowych odbiorców. Podkreślone zostało również zapewnienie dostępności informacji tym, którzy tego potrzebują, zapewniając otwarte linie komunikacyjne pomiędzy interesariuszami przedsięwzięcia budowlanego. Także Butt, Naaranoja

i Savolainen (2016) definiują w podobny sposób skuteczną komunikację. Wskazują oni, że o skutecznej komunikacji w przedsięwzięciu budowlany możemy mówić, gdy informacje przekazywane są odpowiednim osobom w odpowiednim czasie oraz odbywa się to w opłacalny sposób. Zauważyli też, że komunikacja powinna być prosta i dająca się powielać oraz że wymagana informacja zwrotna jest kluczowa do ustalenia, w jaki sposób wiadomość została zrozumiana. Laufer, Shapira i Telem (2008) stwierdzają, że skuteczna komunikacja w dynamicznych warunkach przedsięwzięcia budowlanego stanowi wielkie wyzwanie ze względu na połączony i wzmocniony efekt trzech elementów dynamiki: złożoności, niepewności i szybkości. Złożoność przedsięwzięcia budowlanego można określić jako złożoność technologiczną i organizacyjną. Winch (1989) twierdził, że przedsięwzięcia w budownictwie należą do najbardziej złożonych projektów, na które można natrafić. Dzisiejsze konstrukcje są bardzo złożone technologicznie, obiekty budowlane są na ogół większe, wyższe, zbudowane w bardziej zatłoczonych miejscach i przy użyciu zaawansowanych technologii itd. W rezultacie więcej informacji musi przepływać między większą liczbą ludzi w danym momencie. Wyraźnie zwiększone są też wymagania komunikacyjne ze strony zespołów projektowych i kierownictwa budowy. Złożoność organizacyjna natomiast według Baccariniego (1996) rośnie wprost proporcjonalnie do liczby organizacji (biur projektowych, firm wykonawczych, administracji itp.) i ich wzajemnej zależności od siebie. Te organizacje zazwyczaj reprezentują różne dyscypliny i angażują się przez ograniczony okres w celu wykonania przedsięwzięcia budowlanego. Kolejnym elementem przedsięwzięć budowlanych jest niepewność. Pomimo że narzędzia i metody planowania są stale rozwijane, badania ujawniają, że nie zapewniają one odporności przed niepewnością, co jest nieuniknionym aspektem większości nowoczesnych przedsięwzięć budowlanych (Tatikonda, Rosenthal 2000; De Meyer, Loch, Pich 2002; Browning, Deyst, Eppinger 2002; Sahlin-Andersson, Soderholm 2002). Dainty, Moore i Murray (2006) w swoich badaniach odpowiadają na pytanie, dlaczego warto badać aspekty komunikacji w budownictwie oraz poprawiać jej skuteczność. Przedstawiają to na przytoczonym poniżej przykładzie, jednocześnie zwracając uwagę na usieciowienie przedsięwzięć budowlanych. Każda osoba zaangażowana w budowę odgrywa jakąś rolę w kompleksowej sieci komunikacji. Postrzeganie środowiska przedsięwzięcia budowlanego jako połączonej sieci jest właściwe, ponieważ każde takie przedsięwzięcie, bez względu na to, jak dobrze zdefiniowane, nie może być z powodzeniem realizowane bez interakcji i transakcji między ludźmi i organizacjami.

We wspomnianym przykładzie Dainty, Moore i Murray (2006) rozważają budowę prostego, pojedynczego piętra rozbudowy domu jednorodzinnego. Komunikacja, nawet dla stosunkowo prostego przedsięwzięcia jak to, obejmowała interakcję między właścicielem domu (inwestorem), projektantem, wykonawcą, dostawcą materiałów oraz urzędnikiem odpowiedzialnym za decyzje administracyjne (np. pozwolenie na budowę i pozwolenie na użytkowanie). Następnie rozważono kwestie budowy nowego budynku terminalu i pasa startowego na głównym międzynarodowym lotnisku. Ten rodzaj przedsięwzięcia może wymagać lat planowania i organizacji przed rozpoczęciem działań na placu budowy, obejmując wiele setek organizacji i tysiące osób z całego świata, pracujących razem w zintegrowanym projekcie. Przepływ informacji związanych z takim przedsięwzięciem jest potencjalnie ogromny i musi być starannie zarządzany, jeśli mają zostać osiągnięte pożądane wyniki. Jednak w obu przypadkach sukces lub jego brak będą zależeć od skuteczności zaangażowanych stron, aby przekazać swoje potrzeby i perspektywy innym. Autorzy potwierdzili w ten sposób, że budownictwo w szczególności opiera się na skutecznej komunikacji.

Trzecim elementem dynamiki jest szybkość (Laufer, Shapira, Telem 2008). Cecha ta odnosi się do obecnych wymagań szybkiej realizacji budowy. Wiąże się to między innymi z szybkim przepływem informacji, bogactwem materiałów i rozwojem nowych technologii, wspomagających projektowanie oraz realizację przedsięwzięcia budowlanego (Kapliński 2018). Szybkość definiowana jest również jako składnik, który stanowi podstawę osiągnięcia przewagi konkurencyjnej (Smith, Reinertsen 1991; Meyer 1993). Często bowiem czas realizacji (w kontekście szybkości wykonania robót) jest kluczowym czynnikiem, obok kosztu, wyboru przedsiębiorstwa do przygotowania projektu lub realizacji budowy. Szybkość związana jest także z wprowadzeniem elektronicznej technologii informacyjnej w budownictwie, dzięki czemu w krótszym czasie może zostać przekazanych znacznie więcej informacji. Nieuniknionym skutkiem jest jednak „przeciążenie informacyjne” uczestników przedsięwzięcia budowlanego (Tang, Zhao, Austin, Darlington, Culley 2019). Autorzy (Laufer, Shapira, Telem 2008) stwierdzają, że szybkość czyni wyzwania komunikacyjne w przedsięwzięciu budowlanym, które wynikają ze złożoności i niepewności, jeszcze trudniejszymi.

Istotne jest również określenie „jakości komunikacji”. Jak twierdzą Zavadskas, Turskis i Tamošaitiene (2010), aby odnieść sukces, członkowie zespołu budowlanego w dużym stopniu polegają na jakości wymienianych danych i informacji. Hosseini, Zavadskas, Xia, Chileshe i Mills (2017) przedstawili, że naukowcy wskazują dwa ogólne

wskaźniki do oceny jakości komunikacji. Wskaźniki te: (1) uwzględniają charakter komunikacji (np. częstotliwość komunikacji) między zainteresowanymi stronami oraz (2) skupiają się na ocenach zainteresowanych stron dotyczących jakości komunikacji, np. na ocenie użyteczności przekazanych informacji. Jakość komunikacji obejmuje tylko te aspekty komunikacji (np. dokładność, kompletność, aktualność, wiarygodność i adekwatność), które mogą być oceniane z punktu widzenia opinii zainteresowanych stron. Z innej perspektywy Aubert, Hooper i Schnepel (2013) sklasyfikowali główne atrybuty komunikacji w formie (np. aktualność) i treści (np. dokładność), stwierdzając, że obie kategorie są równie ważne.

Jakość komunikacji określana jest w literaturze również jako ważność, istotność informacji. Na etapie budowy pomiędzy uczestnikami są przekazywane różne informacje związane z przedsięwzięciem. Obejmują one przykładowo projekt, rysunki projektowe, dokumenty zmian, harmonogramy, raporty z postępu prac i inne informacje uzyskane podczas realizacji robót budowlanych. Badacze zauważają jednak, że nie można wszystkich informacji traktować na jednakowym poziomie. Istnieją bowiem informacje o większej wadze dla realizacji projektu. Xie (2002) podkreślił, że tak rozumiana jakość komunikacji jest ważna dla jej efektywności, a niemożność dostarczenia dobrej jakości informacji może być przyczyną błędów podczas realizacji przedsięwzięcia. Liu (2009) stwierdził ponadto, że skoordynowana komunikacja i istotne informacje są kluczowymi czynnikami realizacji przedsięwzięcia budowlanego, zwłaszcza podczas jego pierwszej fazy. Na tym etapie uczestnicy zarządzający przedsięwzięciem (kierownik budowy i jego zespół) mają na celu wdrożenie projektu i koordynację prac budowlanych prowadzonych przez różne organizacje. Jednocześnie współpraca pomiędzy zespołem projektowym i wykonawczym w tym okresie jest najbardziej intensywna, dlatego ważne jest, aby najbardziej istotne informacje były przekazywane w pierwszej kolejności.

Autorka z perspektywy tematu niniejszej pracy uważa interpretację według (Liu 2009) za najbardziej trafną definicję komunikacji, którą można przedstawić w następujący sposób: **„Komunikacja pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego to przekazywanie i wymiana informacji związanych z tym przedsięwzięciem w celu koordynacji i wykonania prac budowlanych na potrzeby osiągnięcia wyznaczonych celów”**. W tym kontekście proces komunikacji nie jest tylko przekazywaniem informacji, ponieważ ma on również na celu osiągnięcie wzajemnego zrozumienia, prowadzenie odpowiednich działań i wreszcie osiągnięcie zintegrowanej koordynacji w ramach realizacji przedsięwzięcia.

2.2. Komunikacja jako czynnik wpływający na koszt realizacji robót przedsięwzięcia budowlanego

Budownictwo jest szczególnie złożonym środowiskiem, w którym można badać zjawiska komunikacyjne. Przedsięwzięcia budowlane mają charakter tymczasowy, a relacje międzyludzkie i interakcje nieustannie się zmieniają, aby odzwierciedlić dynamiczny charakter miejsca pracy (Hoezen, Reymen, Dewulf 2006). Przedsięwzięcia budowlane można podsumować pod względem ich wyjątkowości, złożoności i nieciągłości. Każde będzie miało unikalne cechy charakterystyczne i będzie skupiało wielu różnych uczestników, z których wszyscy będą mieli określony charakter zaangażowania w przedsięwzięcie. Zatem odpowiednie, efektywne zarządzanie komunikacją ma fundamentalne znaczenie dla udanego rozwoju budownictwa (Goczol, Scoubeau 2003). Poprawa skuteczności komunikacji i przepływu informacji między uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego może pomóc w zwiększeniu efektywności, obniżeniu kosztów i poprawie organizacji (Austin, Baldwin, Newton 1993; Hill 1995; Azam, Ross, Fortune, Jaggar 1998; Shirazi, Hampson 1998; Swaffield 1998; Mutti, Hughes 2001; Swan, Cooper, McDermott, Wood 2001). W badaniach ankietowych przeprowadzonych wśród 500 inżynierów budownictwa komunikacja i słuchanie były dla nich najważniejszymi umiejętnościami w ramach kompetencji osób zarządzających przedsięwzięciem (Gushgari, Francis, Saklou 1997). Natomiast wyniki badań ankietowych wykonanych wśród pracowników fizycznych wykazały, że jednym z problemów doświadczanych podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych jest słaba komunikacja, co powoduje poważne trudności w prowadzeniu robót (Zakeri, Olomolaiye, Holt, Harries 1996).

Pierwszymi szczegółowymi badaniami komunikacji w budownictwie, które zapoczątkowały rozwój tej tematyki i do których często odwołują się kolejni autorzy, były *Komunikacja w przemyśle budowlanym: Raport z badań pilotażowych* (Higgin, Jessop 1965) oraz raport zespołu Instytutu Tavistock (Crichton 1966) *Współzależność i niepewność*.

Higgin i Jessop (1965) badali słabą efektywność komunikacji między członkami zespołu przedsięwzięcia budowlanego. Stwierdzili, że natura relacji była głównym czynnikiem powodującym słabą komunikację. Zasugerowali oni, że ulepszenie relacji i zwiększenie ilości informacji może wpłynąć na sukces przedsięwzięcia.

W ramach raportu zespołu Instytutu Tavistock (Crichton 1966) podjęto próbę rozwikłania złożoności relacji organizacyjnych w branży budowlanej za pomocą kilku wywiadów i 13 studiów przypadku. Raport opisuje branżę budowlaną, w której nieudana praca, nieporozumienia i opóźnienia wynikały z problemów z komunikacją i podziału obowiązków. Niepewność i współzależność uznano za kluczowe cechy komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych. Autorzy uznali również, że organizacje budowlane nie są statyczne, a gdy przepływ informacji jest zablokowany, rozwijają się różne nieformalne grupy organizacyjne. Zaproponowali zatem siedem środków w celu zapewnienia idealnej komunikacji: staranne tworzenie wykwalifikowanego zespołu kadry kierowniczej i technologicznej, usunięcie lub ograniczenie sztucznych barier pomiędzy zespołem projektantów i wykonawców, rozważenie wykorzystania narzędzi do programowania i dostępu do danych dla wszystkich stron przedsięwzięcia, zniesienie sprzecznych interesów stron, dostępność dokumentów niezbędnych do uzyskania informacji, ograniczenie zakłóceń spowodowanych przez inne przedsięwzięcia, czyli praca nad jednym przedsięwzięciem w danym czasie, a także zapisywanie wszystkich zdarzeń i działań w celu późniejszej analizy informacji zwrotnych w trakcie przyszłych przedsięwzięć.

Te dwa pilotażowe badania nad komunikacją uwypukliły rozdrobniony charakter przedsięwzięć budowlanych, rozdział zadań projektowych i wykonawczych, brak koordynacji oraz brak zaufania. Zidentyfikowano również czynniki, które utrudniały skuteczną komunikację. Zasadniczo otrzymane wnioski stanowiły wezwanie do większej współpracy, integracji i pracy zespołowej przy przedsięwzięciach budowlanych. Stały się one jednocześnie podstawą do dalszych badań tematu komunikacji w budownictwie.

Wiele późniejszych prac badawczych podkreślało znaczenie komunikacji dla powodzenia przedsięwzięcia budowlanego oraz jej wpływu na czas, koszt i jakość realizacji robót. Przykładowo Thamhain i Wilemon (1986) wymienili skuteczną komunikację między grupami zadaniowymi jako trzeci najważniejszy czynnik przyczyniający się do sukcesu przedsięwzięcia, a Sonnenwald (1996) zasugerował komunikację jako istotny element współpracy podczas projektowania.

Inni dodatkowo udowodniali znaczenie komunikacji przy użyciu różnych metod. Guevara i Boyer (1981) zbadali czynniki komunikacyjne organizacji oraz indywidualne cechy i ich wpływ na efektywność komunikacji w dziewięciu firmach budowlanych. Zastosowali metodę regresji wielorakiej, aby dowiedzieć się, która komunikacja lub poszczególne zmienne wpłynęły na problemy komunikacyjne i w jakim stopniu. Thomas,

Tucker i Kelly (1998) przeanalizowali związek między sukcesem przedsięwzięcia a skuteczną komunikacją na podstawie danych zebranych z 72 projektów przeprowadzonych przez Amerykański Instytut Budownictwa. Udowodnili, że skuteczna komunikacja jest niezbędna do powodzenia przedsięwzięcia. Podobne wnioski wyciągnęli Olanrewaju, Tan i Kwan (2017), którzy uważają, że efektywna komunikacja ułatwia właściwe planowanie i harmonogramowanie prac budowlanych, a posiadanie odpowiednich informacji prowadzi inwestorów i wykonawców do odpowiedniego planowania finansowego i zapewnia terminową dostępność materiałów i robocizny, kiedy jest to wymagane. Gajzler i Dziadosz (2014) stwierdzają, że informacja i jej przepływ pomiędzy uczestnikami posiada moc sprawczą, która służy do uruchamiania kolejnych etapów procesu inwestycyjnego, stanowiącego uporządkowany ciąg zadań. Autorzy (Olanrewaju, Tan, Kwan 2017) twierdzą, że dobrze przekazane informacje na temat realizowanego przedsięwzięcia budowlanego poprawiają efektywność pod względem kosztów, czasu oraz jakości jego realizacji. Efektywna komunikacja może poprawić relacje między stronami kontraktów budowlanych, słaba natomiast powoduje problemy, przeróbki i roszczenia finansowe. Badania (Senaratne, Ruwanpura 2016; Kania, Radziszewska-Zielina, Śladowski 2020) pokazują, że uczestnicy przedsięwzięć budowlanych poświęcają znaczną ilość czasu na komunikowanie się z innymi stronami, dlatego skuteczna komunikacja jest uważana za jeden z podstawowych elementów niezbędnych do osiągnięcia sukcesu wykonania przedsięwzięcia budowlanego.

Oddzielenie wpływu komunikacji na czas, koszt i jakość jest trudne, gdyż aspekty te wzajemnie się przenikają i uzupełniają. Kotzé, Berry i Verster (2008) przypominają, że koszt, zakres i czas to wzajemnie powiązane obszary i zmiana w jednym obszarze wpływa na pozostałe. Komunikacja to funkcja, która integruje zarządzanie kosztami, zakresem i czasem, aby uzyskać produkt wysokiej jakości. Wielu badaczy, poruszając temat komunikacji, wskazuje na oddziaływanie jej w kontekście tych wszystkich trzech czynników.

Efektywność przedsięwzięcia budowlanego stanowi jeden z kluczowych parametrów i często jest uważana za krytyczny wskaźnik do pomiaru sukcesu organizacji budowy. Cheung, Yiu i Lam (2013) zbadali związek między wydajnością, zaufaniem i komunikacją. Badana była mediacyjna rola komunikacji i jej wpływ na przedsięwzięcie. Zidentyfikowano pięć modeli mediacji, które pokazały, że zaufanie wpływa na przepływ informacji, co następnie przekłada się na efektywność przedsięwzięcia. Oznacza to zdaniem autorów, że poprawa przepływu informacji prawdopodobnie poprawiłaby

efektywność przedsięwzięcia (czyli osiągnięcie satysfakcjonującej jakości, minimalizację czasu i kosztów jego realizacji). Skuteczne zarządzanie komunikacją może więc zminimalizować ryzyko w przedsięwzięciu budowlanym i zmniejszać jego opóźnienia oraz identyfikować nieekonomiczne decyzje, a potencjalne spory można dzięki temu szybko zidentyfikować i rozwiązać.

Meng (2012) również wskazuje, że miarą efektywności w przedsięwzięciu budowlanym jest czas, koszt i jakość jego realizacji, ponieważ zakończenie procesu w wyznaczonym terminie, w ramach budżetu oraz uzyskanie wymaganej jakości powszechnie uznawane jest za podstawowy cel sukcesu przedsięwzięcia. Niska efektywność przekłada się na opóźnienia, przekroczenie kosztów i wady jakościowe. W celu zbadania powiązań komunikacji z powyższymi miarami efektywności autor przeprowadził badania ankietowe na grupie 105 praktyków z branży budowlanej w Wielkiej Brytanii, a następnie wraz z grupą ekspertów przeanalizował wyniki, potwierdzając powiązania pomiędzy analizowanymi zmiennymi. Wyniki wskazały, że można uniknąć opóźnień czasowych przez poprawę współpracy, a przekroczenia kosztów dzięki efektywnej komunikacji i skutecznemu rozwiązywaniu problemów. Występowanie wad jakościowych można zredukować przez ustanowienie skutecznych mechanizmów rozwiązywania problemów oraz otwartą komunikację na temat poprawy jakości wykonania. W celu poprawy efektywności autor zaproponował comiesięczne spotkania przeglądowe, na których strony poprawiłyby komunikację, wymieniałyby informacje o kosztach i dyskutowały na temat opcji rozwiązania pojawiających się problemów. Stwierdzono zatem, że problem słabej efektywności do pewnego stopnia można rozwiązać przez poprawę relacji i komunikacji między stronami przedsięwzięcia budowlanego.

Inne badania empiryczne Aiyewalehinmi (2013) obejmowały analizę czynnikową komunikacji w branży budowlanej. Badanie wykazało, że efektywność przedsięwzięcia była dodatnio skorelowana z ilością i jakością komunikacji między osobami zaangażowanymi w projektowanie i realizację budowy. Wskazano, że wysokie poziomy produktywności można przypisać dużym ilościom wysokiej jakości komunikacji między członkami zespołu przedsięwzięcia budowlanego. Autor, biorąc pod uwagę, że przedsięwzięcie budowlane składa się z wielu aspektów, zauważył, że niepowodzenie jednego może doprowadzić do niepowodzenia całego przedsięwzięcia. Autor stwierdził, że w wielu przypadkach jest to konsekwencja złego zarządzania komunikacją.

Chiu (2002) w swoich badaniach również wskazał komunikację w przedsięwzięciu budowlanym jako czynnik wpływający na jego wydajność i organizację. Problem wydajności związany jest ze skutecznością odbioru informacji i jej zrozumieniem, co znacząco wpływa na sprawną realizację prac. Natomiast problem organizacji związany jest z dostarczeniem informacji do właściwych osób z uwzględnieniem formalnych powiązań hierarchicznych w przedsięwzięciu. Chiu (2002) przeprowadził badania dotyczące komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym na etapie projektowania, w których wzięło udział 20 kierowników projektu. Wyniki zebrano i przeanalizowano, a wnioski przedstawiały się następująco:

1. Cele komunikacji: 78% komunikacji było związanych z rozwiązywaniem problemów projektowych, podczas gdy 22% komunikacji było związanych z określeniem problemów.
2. Czas spędzony na komunikacji: średnio 40% czasu projektu zużyto na komunikację, podczas gdy 50% czasu poświęcono na opracowanie i projekt, a 10% czasu projektu przeznaczono na inne zadania. Zauważono, że skuteczność komunikacji w celu podejmowania decyzji i koordynacji zadań projektowych staje się krytyczna dla projektantów.
3. Komunikacja indywidualna a grupowa: wystąpiła komunikacja wśród osób i grup. Liczba osób zazwyczaj zaangażowanych w komunikację wahała się od dwóch do czterech, a każda osoba może reprezentować grupę projektową lub biuro. Jednak komunikacja była zwykle zawężana do minimalnej liczby osób.
4. Częstotliwość komunikacji projektowej: zgodnie z szacunkami częstotliwość przepływu informacji była zróżnicowana w zależności od rodzaju i skali projektów. Wewnętrzna komunikacja była częstsza niż komunikacja zewnętrzna około jeden raz na 1-3 dni, a przy komunikacji zewnętrznej zwykle co najmniej raz w tygodniu.

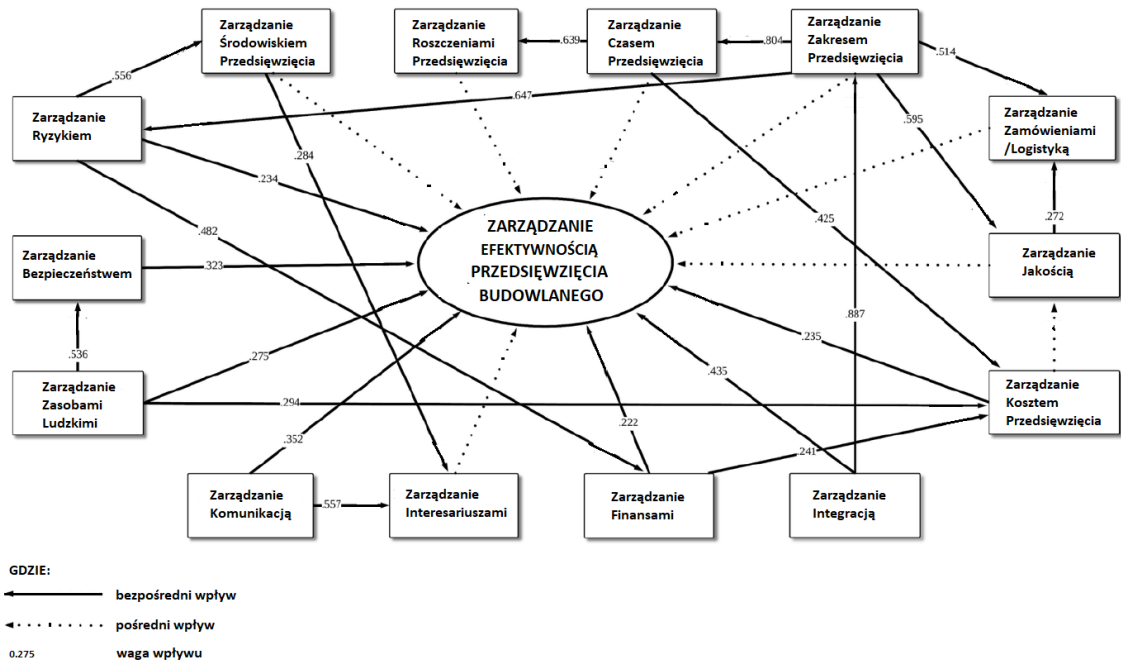
Na podstawie badań określono, że skuteczność komunikacji staje się krytyczna dla projektantów. Niezbędne jest udostępnianie informacji projektowych w celu podejmowania decyzji i koordynacji zadania projektowego. Autor zasugerował również, że odpowiednia struktura organizacyjna może ułatwić komunikację przy projektowaniu i w konsekwencji przyczynić się do sukcesu całego przedsięwzięcia budowlanego.

Jeszcze inne badania potwierdzające znaczenie komunikacji w procesie budowlanym przeprowadzili Xie, Thorpe i Baldwin (2000). Respondentami w badaniu ankietowym byli przedstawiciele biur projektowych i firm wykonawczych o obrotach rocznych co najmniej 50 milionów funtów. Ponad połowa respondentów (51%) wskazała

istotność dobrej komunikacji wewnątrz zespołów. Jednocześnie większość (80%) zwróciła uwagę na pozytywny wpływ komunikacji pomiędzy zespołami na proces budowlany. Autorzy badania poprosili również respondentów o podanie i uszeregowanie zmiennych komunikacyjnych wpływających na efektywność projektowania i realizacji budowy. Wyniki wyraźnie pokazały, że dokładność i kompletność informacji to dwie najważniejsze zmienne. Terminowość i zrozumienie miały wyniki nieco niższe. Bariery i procedury są zdaniem badanych mniej ważne. Autorzy (Xie Thorpe, Baldwin 2000) zidentyfikowali jednocześnie problemy komunikacji w odniesieniu do zmiennych wskazanych przez respondentów, stwierdzając, iż umiejętności komunikacyjne są równie ważne dla profesjonalnego inżyniera jak umiejętności techniczne i naukowe. Powołując się na badania literatury, uzasadniają, że dokładne informacje muszą być dostarczane na wszystkich etapach przedsięwzięcia (Hamilton, Rhodes, Wells 1997). Wiele niedokładnych informacji w przedsięwzięciu budowlanym wynika ze słabej koordynacji i słabych umiejętności komunikacyjnych (Newton 1995; Thomas, Tucker, Kelly 1998). Według Higgina i Jessopa (1965), Guevary i Boyera (1981), Newtona (1995), Thomasa, Tuckera i Kelly'ego (1998) informacje wymagane przez uczestników przedsięwzięcia, odnoszące się do zmian wymagań, projektu, harmonogramów, przepisów i technologii, często nie są dostępne na czas. Wyniki badania przeprowadzonego przez Xie, Thorpe'a i Baldwina (2000) wykazały, że większość respondentów (80%) i ich organizacji doświadczyła problemu niedokładnych informacji, a 90% respondentów i ich organizacje często otrzymują informacje zbyt późno w procesie projektowania i realizacji budowy, co jednocześnie przekłada się na czas, koszt i jakość przedsięwzięcia budowlanego.

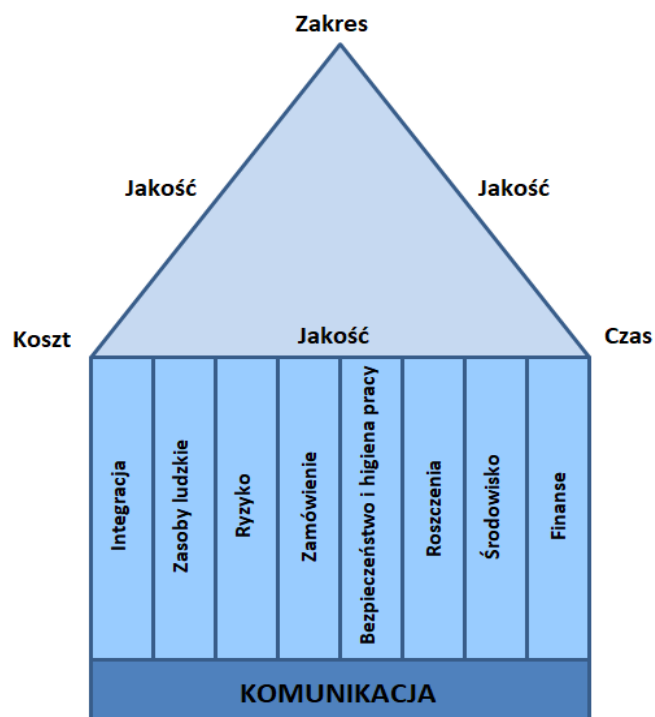
Demirkesen i Ozorhon (2017), bazując na 14 obszarach wiedzy w zakresie zarządzania projektami, wskazanymi w podręczniku PMBoK (Project Management Body of Knowledge), opracowali specyficzne wskaźniki i uwarunkowania do zarządzania budową. Badali wzajemne powiązania między obszarami wiedzy i ich wpływem na efektywność w przedsięwzięciu budowlanym. Dane zebrano ze 121 przedsięwzięć budowlanych i następnie przeanalizowano. Wyniki badań wskazują, że w przedsięwzięciu budowlanym integracja, komunikacja, bezpieczeństwo, ryzyko, zasoby ludzkie, zarządzanie finansami i kosztami mają bezpośredni wpływ, podczas gdy zarządzanie zakresem i czasem mają pośredni wpływ na wyniki. Autorzy podjęli próbę opracowania modelu pomiaru efektywności w budownictwie, dokonując szerokiego przeglądu literatury pod względem wskaźników efektywności zarządzania przedsięwzięciem oraz analizując dane z przedsięwzięć (rys. 2). Zauważyć należy,

że komunikacja jest jednym z istotniejszych czynników wpływających na efektywność przedsięwzięcia.



Rys. 2. Model zarządzania efektywnością przedsięwzięcia budowlanego wg Demirkesen i Ozorhon (2017)

Zulch (2014) w swoich badania próbowała określić, czy komunikacja może być podstawą obszaru zarządzania przedsięwzięciem budowlanym. Drugim celem jej badań było ustalenie, czy komunikacja może być postrzegana jako obszar łączący i koordynujący różne procesy i działania związane z zarządzaniem przedsięwzięciem budowlanym. Zastosowała ona metodę ankiety wśród uczestników przedsięwzięć budowlanych, takich jak kierownicy projektów, architekci, kierownicy budowy i inżynierowie. Analizując otrzymane wyniki, stwierdziła, że komunikacja jest potrzebna, aby skutecznie zarządzać przedsięwzięciem budowlanym oraz wpłynąć na koszt, czas oraz jakość, dlatego też szczególnie istotne są umiejętności komunikacyjne osób zarządzających. Według autorki przepływ informacji i porozumiewanie się to funkcje, które integrują koszty, zakres i czas, aby osiągnąć produkt wysokiej jakości, i mogą być postrzegane jako funkcje podstawowe. Zulch zaproponowała model, w którym komunikacja stanowi podstawę wszystkich obszarów realizacji przedsięwzięcia budowlanego (rys. 3).

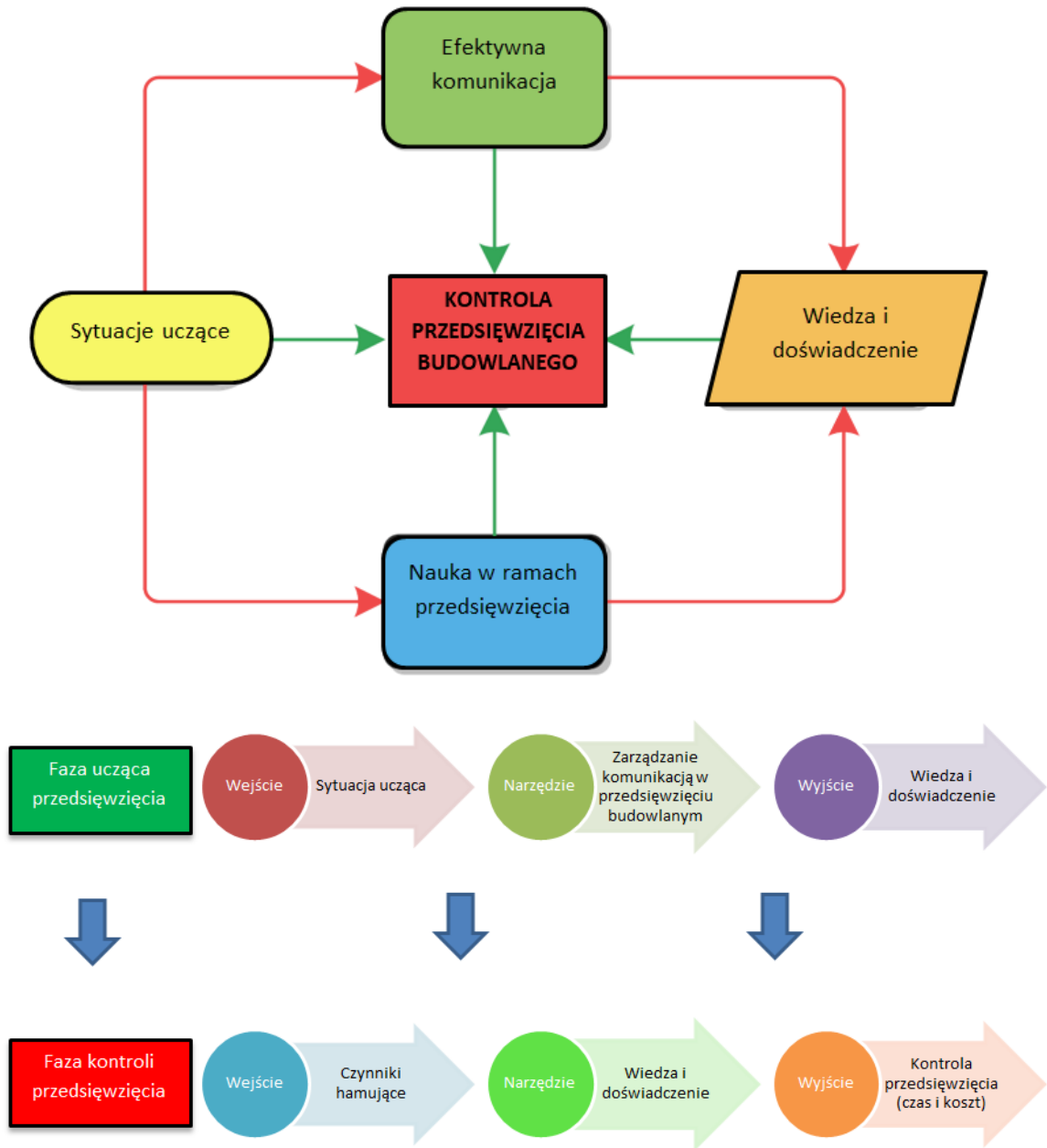


Rys. 3. Podstawowy model komunikacyjny w przedsiębiorstwie budowlanym wg Zulch (2014)

Bowen i Edwards (1996) zwrócili uwagę na uwzględnienie komunikacji w planowaniu całkowitego kosztu przedsięwzięcia oraz skupili się na wartości informacji. Według autorów najwyższą wartość dla uczestników przedsięwzięcia budowlanego mają nowe informacje, które przyczyniają się do zwiększenia zasobu wiedzy. Niewielka wartość została przypisana informacjom, które są zbędne dla odbiorcy. W kontekście planowania kosztów odbiorcy doceniają informacje, które najskuteczniej wspierają podejmowanie decyzji. Potencjalne bariery w skutecznej komunikacji mogą natomiast wpłynąć na wzrost planowanych kosztów przedsięwzięcia i spowodować nieefektywną realizację zadań.

Yap i Skitmore (2020) zbadali naturę komunikacji przedsięwzięć budowlanych, uczenia się i zarządzania wiedzą oraz ich wpływ na czas trwania przedsięwzięcia i kontrolę kosztów jego realizacji. Autorzy zauważają, że stałym tematem w zarządzaniu przedsięwzięciami budowlanymi jest słabe zarządzanie harmonogramem przedsięwzięcia i budżetem mimo znacznej ilości badań i publikacji na ten temat. Przedstawione zostały również wnioski z analizy 12 wywiadów przeprowadzonych z profesjonalistami z branży budowlanej, gdzie stwierdzono, że skuteczna komunikacja może poprawić kontrolę czasu i kosztów przedsięwzięcia. Autorzy zaproponowali model fazowy kontroli przedsięwzięcia budowlanego (rys. 4), który wykorzystuje uczenie się

przez doświadczenie w projektach budowlanych i skuteczną komunikację jako ważne narzędzia do pomyślnej realizacji przedsięwzięć.



Rys. 4. Model kontroli przedsięwzięcia budowlanego ze względu na czas i koszt wg Yap i Skitmore (2020)

Muller i Turner (2005) analizują struktury komunikacyjne między inwestorami a kierownikami projektów w przedsięwzięciach budowlanych. Autorzy zauważyli, że wysiłki komunikacyjne na rzecz zmniejszenia nierówności w informacjach między zleceniodawcą a uczestnikami muszą osiągnąć pewien poziom równowagi. Stwierdzono, że równowaga umożliwia osiągnięcie najniższych kosztów komunikacji dzięki dobrej

współpracy i odpowiedniej strukturze komunikacyjnej. Autorzy zauważyli również, że koszty przedsięwzięcia można zatem zminimalizować między innymi przez odpowiednie inwestycje w struktury komunikacyjne. Rosnące wysiłki na rzecz optymalizacji komunikacji prowadzą bowiem do zmniejszenia kosztów administracyjnych w przedsięwzięciu.

Najlepsza praktyka w zespołach budowlanych charakteryzuje się otwartą wymianą informacji i dobrą komunikacją (Cook, Pasquire 2001), umożliwiającą wykonywanie obowiązków i zakresu realizowanych zadań (Macmillan 2001). Jednak tam, gdzie zgłaszano nieprawidłowości w procesie komunikacji, pojawiły się również problemy podczas realizacji budowy (Building 1987; Cook, Pasquire 2001). Badania podjęte przez Taywood Engineering wykazały, że słaba komunikacja, brak konsultacji i niewystarczająca informacja zwrotna to jedne z czynników pogarszające efektywność przedsięwzięcia (Betney 1997).

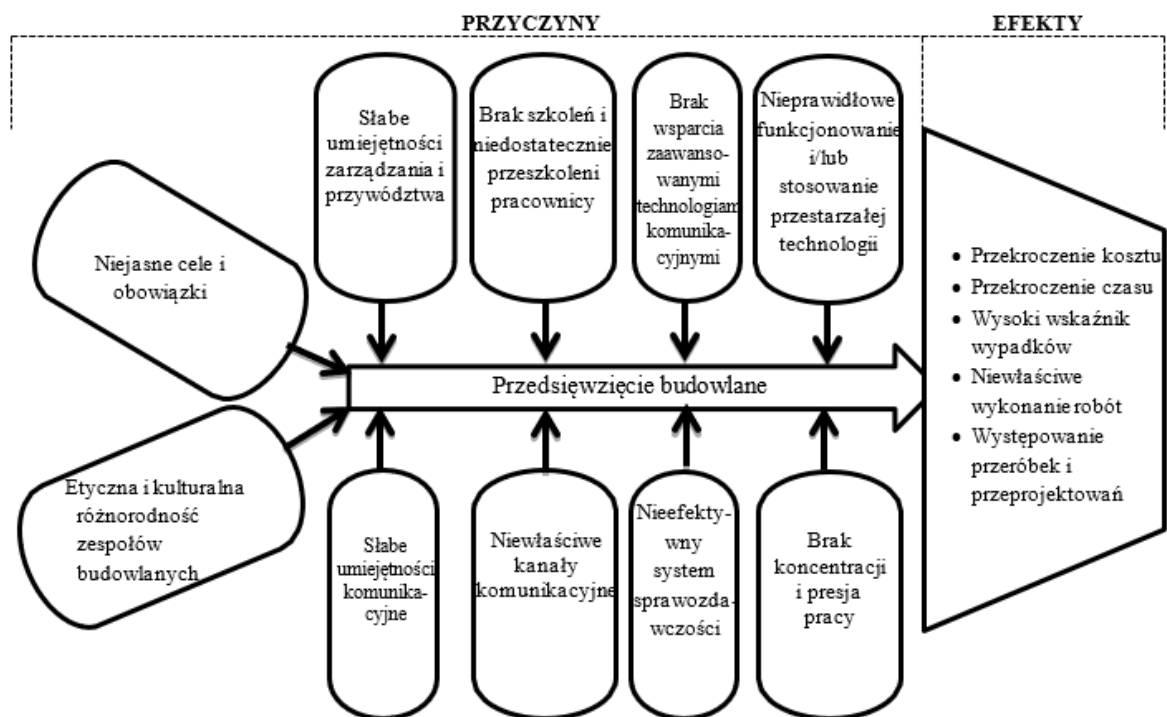
Gamil i Rahman (2017) w swoim artykule dokonali identyfikacji przyczyn i skutków słabej komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych na podstawie szerokiego studium literaturowego. Wyzwaniem w przedsięwzięciu budowlanym na drodze stworzenia produktów wysokiej jakości staje się zapewnienie skutecznej komunikacji przez cały cykl realizacji budowy. Słaba komunikacja między zespołami budowlanymi jest opisywana jako nieefektywna, nieudana i niewystarczająca lub jako całkowity brak przepływu informacji w przedsięwzięciu budowlanym. Autorzy wyodrębnili 33 przyczyny słabej komunikacji, stwierdzając, że najbardziej dominującymi są: brak skutecznej komunikacji między stronami budowlanymi, brak skutecznych systemów komunikacji i platform, a także słabe umiejętności komunikacyjne. Inne przyczyny, które zostały przez nich wskazane, to: złożoność branży budowlanej, brak planu komunikacji, niedostępność informacji, powolny przepływ informacji między stronami, niewłaściwe zarządzanie czasem komunikacji, złe planowanie i koordynacja, słabe zarządzanie komunikacją, słaba struktura organizacyjna, niedokładne dostarczenie informacji o projekcie, niedostępność informacji w czasie, brak procedury komunikacji i szkolenia. Natomiast spośród 21 skutków złej komunikacji stwierdzili, że najczęściej powtarzaniem efektem jest przekroczenie czasu i kosztów oraz konflikty między stronami budowlanymi. Inne zidentyfikowane przez nich skutki to: przeróbki i zmiany wprowadzane podczas realizacji przedsięwzięcia, wysoka liczba wypadków, zdemotywowani pracownicy, słaba współpraca w zespole, nieporozumienie, błędna interpretacja projektu, błędy projektowe, częste korekty harmonogramu robót itd.

Gorse, Emmitt i Lowis (1999) zwracają uwagę, że branża budowlana jest związana z problemami komunikacyjnymi, z których wiele rozwija się na styku u kluczowych specjalistów. Wszystkie etapy budowy opierają się na profesjonalistach przekazujących odpowiednie i istotne informacje dotyczące przedsięwzięcia, aby spełnić wymagania inwestora. Projekt budynku rzadko jest ukończony przed rozpoczęciem fazy budowy. Kiedy realizowana jest budowa, rozwija się projekt i rośnie zapotrzebowanie na informacje. Powszechna praktyka szybkiej realizacji budowy oznacza, że szczegółowe projekty opracowywane są w trakcie realizacji robót budowlanych. W związku z małą ilością czasu istotne jest, aby problemy projektowe i konstrukcyjne były rozpoznawane i rozwiązywane tak szybko, jak to możliwe. Brak identyfikacji brakujących informacji oraz niepoprawne lub sprzeczne informacje powodują opóźnienia w realizacji robót budowlanych. To bardzo ważne, aby komunikacja była skuteczna, zapewniając zrozumienie i poprawne przetwarzanie informacji, jeśli proces ma przebiegać sprawnie. Według autorów (Gorse, Emmitt, Lowis 1999) istotnym aspektem skutecznej komunikacji jest wybór medium komunikacyjnego, które najlepiej nadaje się do rozwiązania problemu. W swoich badaniach stwierdzili, że najodpowiedniejsza jest komunikacja bezpośrednia. W przypadku gdy jeden specjalista próbuje wyjaśnić problem, jest on w stanie zauważyć, że nie jest rozumiany przez drugą osobę. Gdy informacje są wysyłane za pomocą środków przekazu informacji, np. faksem lub pocztą elektroniczną, weryfikacja taka jest utrudniona, co może prowadzić do niepewności, nieporozumień lub błędów. Brak informacji zwrotnej z kolei zwiększa problemy z komunikacją.

Hoezen, Reymen i Dewulf (2006) podjęli próbę zdefiniowania problemów komunikacyjnych w budownictwie na przykładzie realizacji przedsięwzięć w Holandii. Zbadali literaturę na temat komunikacji w budownictwie i przeprowadzili wywiady z ekspertami z branży. Na podstawie przeglądu literatury stwierdzili, że efektywność procesu budowlanego silnie zależy od jakości porozumiewania się. Wymienili przytoczone na podstawie badań literatury powody, dla których usprawnienia w komunikacji w budownictwie są potrzebne. Wskazali, że poprawa komunikacji w zespołach budowlanych może zmniejszyć liczbę awarii i przeróbek, otwarta komunikacja prowadzi do innowacji i lepszych rozwiązań technicznych, a lepsza komunikacja też prowadzi do podejmowania trafnych decyzji w sytuacjach wymagających pośpiechu. Zwrócili również uwagę na organizację procesu budowlanego i związane z tym różnice między formalnymi i samoorganizującymi się kanałami komunikacyjnymi. Z przeprowadzonych wywiadów natomiast wynikało, że respondenci

postrzegają procesy komunikacyjne jako dalekie od oczekiwanych. Główną konsekwencją słabej komunikacji, jaką wskazano, był wpływ na czas i koszt realizacji przedsięwzięć budowlanych. Przywołane przykłady to błędy z wczesnych etapów przedsięwzięć, które muszą zostać rozwiązane w późniejszym czasie. Jednocześnie wprowadzanie korekt w późniejszych etapach procesu budowy kosztuje zazwyczaj dodatkowe pieniądze. Respondenci stwierdzili, że lepsza komunikacja prawdopodobnie doprowadziłaby do mniejszych opóźnień i niższych wydatków. Zauważono również, że jakość wykonanych prac rośnie wraz z poprawą komunikacji, co zwiększa zadowolenie inwestorów.

Z kolei autorzy w pracy (Obonadhuze, Eze, Siunoje, Sofolahan 2021) na przykładzie przedsięwzięć budowlanych w Nigerii zbadali czynniki odpowiedzialne za nieefektywną komunikację oraz ocenili jej skutki (rys. 5). W celu poprawy komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych i zminimalizowania skutków nieefektywnej komunikacji autorzy sformułowali zalecenia w obszarach planowania komunikacji i zarządzania ryzykiem.



Rys. 5. Diagram Ishikawy nieefektywnej komunikacji w przedsiębiorstwie budowlanym (Obonadhuze, Eze, Siunoje, Sofolahan 2021)

Durdyev (2020) dokonał przeglądu badań dotyczących przekroczenia kosztów przedsięwzięć budowlanych, opublikowanych na przełomie ostatnich 35 lat.

Zidentyfikował 79 przyczyn przekroczenia kosztów, a następnie omówił dziesięć przyczyn, które były najczęściej wskazywane i cytowane w recenzowanych publikacjach. „Słaba komunikacja” została wymieniona w pierwszej dziesiątce czynników, które powodują przekroczenie kosztów przedsięwzięć. Autor, powołując się na literaturę, stwierdza, że brak odpowiedniego przepływu informacji, a co za tym idzie – konflikty i spory między interesariuszami, mają wpływ na realizację harmonogramu przedsięwzięcia, co ostatecznie wpływa na jego efektywność kosztową. Zauważa ponadto, że cykl życia przedsięwzięcia budowlanego znany jest z dynamicznej struktury oraz dynamicznego przepływu informacji. Aby sprostać wszelkim wyzwaniom wynikającym z tych problemów, zaleca stosowanie zasady innowacyjnych metod realizacji przedsięwzięć, które ustanowiłyby środowisko współpracy na najwcześniejszym etapie projektowania przedsięwzięcia budowlanego oraz zarządzanie nim przez cały cykl jego życia.

Efektywna komunikacja w przedsięwzięciu budowlanym ułatwia, przy zachowaniu dostępności wszystkich innych niezbędnych zasobów, jego realizację zgodnie z założonym budżetem. Brak niezbędnych informacji oraz wydłużający się proces decyzyjny powodują obniżenie efektywności tego przedsięwzięcia, a co za tym idzie wydłużenie czasu, wzrost kosztów i obniżenie jakości przedsięwzięcia. Należy zatem dbać o efektywność komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.

2.3. Wpływ komunikacji na czas realizacji robót przedsięwzięcia budowlanego

Opóźnienia realizacji przedsięwzięć budowlanych są tematem wielu rozważań naukowych. Pomimo rozwoju metod planowania przedsięwzięć budowlanych nadal wiele realizacji boryka się z pojawiającym się problemem przekroczenia terminu realizacji budowy. Na fakt powstania opóźnień składa się wiele czynników. W literaturze liczni badacze zidentyfikowali nieskuteczną komunikację jako jedną z głównych przyczyn opóźnień w przedsięwzięciach budowlanych (Assaf, Al-Hejji 2006; Liu, Li, Lin, Nguyen 2007; Larsen, Shen, Lindhard, Brunoe 2015; Wang, Ford, Chong, Zhang 2018).

Berenger i Justus (2016) na podstawie przeprowadzonych wywiadów z grupą praktyków wskazali opóźnienia czasu realizacji spowodowane złą komunikacją. Skupili się oni przede wszystkim na błędach pojawiających się już we wczesnych etapach

przedsięwzięcia budowlanego, które należy rozwiązać w późniejszych etapach, co skutkuje wykonywaniem korekt i przeróbek oraz wymaga dodatkowych pieniędzy. Badani respondenci uważali, że poprawa komunikacji niewątpliwie doprowadziłaby do zmniejszenia opóźnień, obniżenia kosztów i poprawy jakości, co skutkowałoby wzrostem zadowolenia inwestora.

Zidane i Andersen (2018) na podstawie przeglądu literatury światowej wskazali dziesięć najbardziej uniwersalnych czynników opóźnień w przedsięwzięciach budowlanych. Na pozycji piątej została umieszczona słaba komunikacja i koordynacja między stronami biorącymi udział w przedsięwzięciu. Również Durdyev i Hossein (2019) w celu zidentyfikowania czynników powodujących opóźnienie realizacji przedsięwzięć budowlanych szczegółowo zbadali dotychczasowe publikacje. Wskazali, że „słaba komunikacja, koordynacja i konflikty między zainteresowanymi stronami” to druga najczęściej cytowana przyczyna opóźnień. Warto wspomnieć, że ta przyczyna opóźnień została zidentyfikowana w wielu badaniach, niezależnie od statusu społeczno-ekonomicznego kraju, w którym realizowano badania. Koordynacja przedsięwzięcia budowlanego powinna koncentrować się na harmonogramowaniu oraz przydziale odpowiednich zasobów (ludzi i materiału) do każdego działania w jak najbardziej efektywny sposób w celu zminimalizowania możliwości opóźnienia harmonogramu. Skuteczne kanały komunikacji między kluczowymi uczestnikami przedsięwzięcia sprawiają, że wszystkie zainteresowane strony dysponują jasnymi szczegółami technicznymi i informacjami prowadzącymi do sukcesu przedsięwzięcia. Dlatego przedsięwzięcie, które jest dobrze skoordynowane oraz odpowiednio skomunikowane, staje się mniej podatne na konflikty pomiędzy interesariuszami przedsięwzięcia.

Autorki w pracy (Leśniak, Plebankiewicz 2010) przedstawiły w swoich badaniach możliwe przyczyny powstawania opóźnień w trakcie realizacji robót budowlanych. Na podstawie badań ankietowych zaprezentowane zostały również opinie wybranych uczestników procesu inwestycyjnego (zarządzających kontraktem) na ten temat. Autorki stwierdziły, że dla sprawnego przebiegu procesu budowlanego bardzo istotne są relacje między poszczególnymi uczestnikami przedsięwzięcia. Wskazano, że ograniczony lub niewłaściwy przepływ informacji pomiędzy inwestorem, wykonawcą i projektantem, często pojawiające się konflikty, trudne i przedłużające się negocjacje mogą być przyczyną opóźnień. Jednocześnie wyniki przeprowadzonych badań ankietowych udowodniły, że w opinii zarządzających przedsięwzięciem budowlanym najczęściej

za powstawanie opóźnień odpowiada czynnik ludzki, w skład którego wszedł między innymi przepływ informacji pomiędzy uczestnikami tego przedsięwzięcia.

Przedmiotem rozważań Grzyl i Apollo (2013) były wybrane problemy inwestora i wykonawców, dostrzeżone w toku realizacji robót budowlanych związanych z rewitalizacją dzielnicy Letnica w Gdańsku. Wskazano pojawiające się problemy przy realizacji dużego i wieloetapowego przedsięwzięcia inwestycyjnego, jednocześnie podejmując się zdefiniowania ich przyczyn. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, iż powstałe zakłócenia w realizacji zadań budowlanych spowodowane były między innymi problemami z komunikacją i przepływem aktualnych oraz wiarygodnych informacji (wiele kanałów, różnorodność informacji, sprzeczne decyzje, brak precyzyjnych informacji). Podkreślono, że przyczyny te skutkowały opóźnieniami na placu budowy i zwiększeniem kosztów.

Kuchta, Tylek i Rawska-Skotniczy (2017) również stwierdzili, że efektywna komunikacja między uczestnikami procesu budowlanego jest niezbędnym elementem realizacji każdej inwestycji. Przedstawili oni między innymi przyczynę problemów komunikacyjnych w przedsięwzięciach budowlanych jako brak zrozumienia przekazywanych informacji ze względu na ich: nieczytelność, niepełność, niejednoznaczność, zniekształcenie czy wreszcie błędną interpretację. Wskazali jednak, że obecnie zdarza się, iż problemy tego typu mogą powstawać nie tyle z braku informacji, ile z jej nadmiaru, który może przyczynić się do przeoczenia istotnych szczegółów, stając się przyczyną nieporozumień i opóźnień w realizacji inwestycji.

Nawet wzorowo zaplanowane i zorganizowane przedsięwzięcia budowlane niosą ze sobą ryzyko wystąpienia nieprzewidzianych zdarzeń, które mogą stać się przyczyną opóźnień w realizacji robót budowlanych. Autorzy w pracy (Leśniak, Piskorz 2018) zaprezentowali wyniki badań podjętych wśród uczestników procesu inwestycyjnego w celu identyfikacji i oceny ważności przyczyn opóźnień powstających na etapie projektowania w realizacji przedsięwzięć budowlanych w systemie zaprojektuj i wybuduj. W przedstawionych badaniach zaproponowano 27 czynników mogących odpowiadać za opóźnienia i podzielono je na pięć grup. W grupie obejmującej koncepcję projektową uwzględniono czynnik – brak właściwej komunikacji pomiędzy zamawiającym a wykonawcą, będący jednym z istotniejszych w tej grupie. Uzyskane wyniki potwierdzają, że już na etapie projektowania pojawia się wiele zjawisk mogących być przyczyną opóźnień w realizacji przedsięwzięcia budowlanego, dlatego podjęcie odpowiednich działań może przyczynić się do zmniejszenia skali tych opóźnień.

Jaśkowski i Biruk (2010) zbadali czynniki ryzyka wpływające na czas realizacji przedsięwzięć budowlanych. Przeanalizowali oni wyniki badań czynników ryzyka czasu prezentowane w literaturze zagranicznej, porównując je z wynikami badań ankietowych przedsiębiorstw budowlanych w Polsce. Komunikacja była jednym ze wskazywanych w literaturze czynników ryzyka. Jednocześnie w badaniu ankietowym jako przyczyna rozszerzenia zakresu/ilości robót na skutek zmian projektowych oraz przyczyna opóźnienia w wykonywaniu projektów wykonawczych (w przypadku dokumentacji etapowej) została wskazana zła komunikacja pomiędzy uczestnikami.

Efektywna komunikacja, jak przedstawiono w powyższych badaniach, jest ważnym aspektem realizacji przedsięwzięć budowlanych, umożliwiającym do pewnego stopnia zmniejszenie opóźnień podczas budowy. Znaczna ilość badań dotyczących przyczyn przekroczenia czasu realizacji robót budowlanych wskazuje na problemy z komunikacją i przepływem informacji jako jeden z najważniejszych czynników, jednocześnie uwidaczniając potrzebę poprawy koordynacji w tym zakresie.

2.4. Komunikacja będąca czynnikiem wpływającym na jakość realizacji robót przedsięwzięcia budowlanego

Analizując wpływ komunikacji w kontekście jakości realizowanych robót w przedsięwzięciach budowlanych, skupiono się na tematyce zmian projektowych i przeróbek już wykonanych robót. Nie sposób jednak oddzielić jakość robót od czasu i kosztu realizacji przedsięwzięcia. Zmiany wprowadzane podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych określane są jako jedne z najważniejszych przyczyn przekroczenia kosztów i tworzenia się opóźnień harmonogramu (CII 2001; Hanna, Gunduz 2004; Hussain 2012; Amoatey, Anson 2017; Yap, Abdul-Rahman, Wang 2017a; Shrestha, Maharjan 2018; Khanzadi, Nasirzadeh, Dashti 2018; Habibi, Kermanshachi, Safapour 2018; Habibi, Kermanshachi, Rouhanizadeh 2019). Raport Amerykańskiej Agencji Rozwoju Przemysłu Budowlanego wskazał, że koszty spowodowane przeróbkami to średnio 5% całkowitych kosztów budowy (CII 2005). Zlecenia zmian są zwykle wydawane w celu modyfikacji i/lub zmiany projektu w trakcie etapu realizacji budowy, ale mogą być wydawane z różnych powodów. Stają się zatem istotnym wyzwaniem dla projektantów i wykonawców, mogąc powodować konflikty między interesariuszami przedsięwzięcia (Habibi, Kermanshachi 2018).

Istnieje kilka definicji związanych z przeróbkami w ramach przedsięwzięć budowlanych, przytaczanych w literaturze dotyczącej branży budowlanej. Josephson, Larsson i Li (2002) definiują przeróbkę jako niepotrzebnie wykonane roboty, które często występują z powodu pomyłki podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Amerykański Instytut Budownictwa przy Uniwersytecie Texas w Austin (CII 2001) scharakteryzował ponowne prace w fazie budowy jako czynności, które muszą być wykonane więcej niż jeden raz, lub czynności, które usuwają wcześniejsze prace wykonane w ramach przedsięwzięcia.

Znaczna ilość autorów zajmujących się tą tematyką jako przyczynę przeróbek wskazuje nieskuteczną komunikację (Love, Li, Mandal 1999a, 1999b; Fayek, Dissanayake, Campero 2003; Hwang, Thomas, Haas, Caldas 2009; Yap, Abdul-Rahman, Wang 2017b) i zwraca uwagę na potrzebę jej poprawy (Hwang, Thomas, Haas, Caldas 2009). Według Mendelsohna (1997) blisko 75% problemów lub przeróbek w przedsięwzięciu budowlanym zostało spowodowanych na etapie projektowania. Brak komunikacji pomiędzy projektantami a inwestorem może prowadzić do błędów i niedopatrzeń w dokumentacji projektowej (Love, Edwards 2004). Zespół projektowy i wykonawczy często błędnie interpretują wymagania inwestora w projekcie (Koskela, Huovila, Leinonen 2002; Thomson, Austin, Devine-Wright, Mills 2003), dlatego Love i Edwards (2004) sugerują komunikację i harmonijne relacje między inwestorem i zespołem projektowym oraz zaangażowanie inwestora w proces projektowania, co może znacznie zmniejszyć liczbę przeróbek związanych z projektowaniem. Również Kamalirad, Kermanshachi, Shane i Anderson (2017) wskazali, że aby uniknąć ponownego wykonywania robót lub je zminimalizować, kluczowa jest dobrze przygotowana dokumentacja kontraktowa oraz skuteczna komunikacja i współpraca między zaangażowanymi uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Dodatkowo, wspomniani autorzy stwierdzili, że dobra komunikacja i przepływ informacji ułatwia zaprojektowanie przedmiotu inwestycji, skutecznie zapobiegając wprowadzaniu zmian na etapie realizacji budowy. Safapour, Kermanshachi i Taneja (2019) dokonali krytycznego przeglądu literatury dotyczącej przyczyn wprowadzania zmian w projekcie budowlanym na etapie realizacji i dokonywania przeróbek już wykonanych prac. Przyczyny przeróbek zostały skategoryzowane ze względu na projekt, organizację przedsięwzięcia i uczestników biorących udział w przedsięwzięciu budowlanym. Siedem najważniejszych i najczęstszych przyczyn przeróbek to: nieskuteczna koordynacja, brak zarządzania zasobami, nieefektywna komunikacja, brak szkoleń, brak kontroli

przedsięwzięcia, brak kontroli dokumentacji i złe zarządzanie, przy czym nieefektywna komunikacja została określona jako najczęstsza przyczyna przeróbek należących do kategorii organizacji. W kolejnych badaniach Safapour i Kermanshachi (2019) zweryfikowali powyższą wiedzę, przeprowadzając badania ankietowe na grupie praktyków. Otrzymane wyniki badań wskazały między innymi, że niska jakość komunikacji pomiędzy inwestorem, projektantem i wykonawcą znacząco wpływa na potrzebę wydania zmian projektowych. Wskazany został również jako istotny fakt, że inwestor z opóźnieniem podejmuje istotne decyzje, a projektanci i wykonawcy natomiast nie posiadają wystarczających informacji w celu odpowiedniego wykonania swojego zakresu prac, co potwierdza brak skutecznej komunikacji jako przyczyna zmian i przeróbek.

Nieskuteczna komunikacja została również uznana za główną przyczynę robót poprawkowych, które wpływają na obniżenie poziomu bezpieczeństwa podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego (Yap, Rou Chong, Skitmore, Lee 2020).

Trach, Pawluk i Lendo-Siwicka (2019) również zidentyfikowali przyczyny przeróbek na budowie, wskazując, że prowadzą one bezpośrednio do przekroczenia czasu i kosztów przedsięwzięcia budowlanego. Przeprowadzili oni badania na 42 przedsięwzięciach budowlanych, gdzie poproszono praktyków o wskazanie głównych przyczyn przeróbek podczas realizacji budowy. Najczęściej wskazywane przez inwestorów były „brak koordynacji i słaba komunikacja” i „zmiana projektu” (mają one duży wpływ, odpowiednio 37,5% i 31,3%), podczas gdy dla projektantów „niekompletny projekt w momencie przetargu” i „słaba koordynacja projektu” (bardzo duży wpływ, odpowiednio 52,9% i 29,4%). Autorzy dowodzą, że należy wdrażać skuteczne zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym i planowanie wszystkich zakresów realizacji, w tym zarządzanie komunikacją, aby ograniczyć pierwotne przyczyny przeróbek podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego.

Jeszcze w innych badaniach autorzy (Trach, Trach, Lendo-Siwicka 2021) przedstawili narzędzie do ilościowej oceny zależności pomiędzy komunikacją a efektywnością projektu, która wyraża się w kosztach przeróbek. Opracowany model został oparty na sztucznej sieci neuronowej (ANN) do oceny i przewidywania wpływu czynników komunikacyjnych na koszty przeróbek w projektach budowlanych. W fazie zbierania danych autorzy zidentyfikowali i ocenili 12 czynników, które wpływają na komunikację. Obliczono również poziom kosztów przeróbek w 18 przedsięwzięciach

budowlanych. Zaproponowany model potwierdza w sposób ilościowy zależność komunikacji i przeróbek w przedsiębiorstwach budowlanych.

Podsumowując zakres jakości wykonywanych robót w kontekście zmian projektowych i ponownej realizacji już raz wykonanych robót budowlanych, okazuje się, że słaba komunikacja jest jedną z najczęściej wymienianych przyczyn ich powstawania. Jednocześnie wielu autorów podkreśla, że poprawa skutecznego przepływu informacji może znacznie ograniczyć liczbę przeróbek, co spowoduje minimalizację kosztów realizacji przedsięwzięcia oraz zachowanie planowanych ram czasowych na jego ukończenie.

Wiele badań naukowych dowodzi, że komunikacja w przedsiębiorstwach budowlanych ma wpływ na czas, koszt i jakość realizacji robót. Naukowcy często opierają się w tej kwestii na badaniach przeprowadzonych na przykładach realizacji przedsięwzięć budowlanych oraz doświadczeniu praktyków w dziedzinie budownictwa. Wpływ komunikacji na czas, koszt i jakość robót został jednak określony w sposób jakościowy i brakuje w tym zakresie badań ilościowych. Wszyscy badacze są jednak jednomyślni w kontekście efektywnej komunikacji, że ma ona pozytywny wpływ. Brak skutecznej komunikacji i utrudniony przepływ informacji są natomiast przyczyną wzrostu kosztów, przekroczenia czasu i obniżenia jakości wykonywanych robót.

2.5. Wpływ komunikacji na bezpieczeństwo i higienę pracy na budowie

Praca w budownictwie jest uważana z natury za niebezpieczną pomimo postępu technologicznego w zakresie bezpieczeństwa warunków pracy i sprzętu. Dlatego właśnie skuteczna komunikacja pomiędzy wszystkimi stronami przedsięwzięcia budowlanego jest niezbędna do uzyskania bezpieczeństwa podczas realizacji budowy.

Najnowsze badania potwierdzają kluczową rolę komunikacji w poprawie wyników bezpieczeństwa na placach budowy. Badania w zakresie zarządzania bezpieczeństwem na budowie definiują nawet pojęcie „komunikacji bezpieczeństwa” (Gao, Chan, Utama, Zahoor 2016; Li, Ji, Yuan, Han 2017; Marín, Roelofs 2017). Komunikację bezpieczeństwa definiuje się jako wymianę i dzielenie się wiedzą na temat bezpieczeństwa pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia w celu wykonywania swoich zadań w sposób bezpieczny lub w celu zdobycia wiedzy na temat ryzyka wypadku na budowie (Zamani, Banhashemi, Abbasi 2020). Komunikacja bezpieczeństwa może być zarówno formalna, jak i nieformalna. Komunikacja formalna odnosi się do wymiany informacji dokonywanej za pośrednictwem wcześniej zdefiniowanych kanałów

komunikacyjnych (Hallowell 2011; Alsamadani, Hallowell, Javernick-Will 2013; Alsamadani, Hallowell, Javernick-Will, Cabello 2013) i obejmuje formalne interakcje z podległymi pracownikami w postaci szkolenia z zakresu bezpieczeństwa. Z drugiej strony komunikacja nieformalna jest tworzona pomiędzy członkami grupy roboczej i może nie mieć systematycznej podstawy (Alsamadani, Hallowell, Javernick-Will 2013; Alsamadani, Hallowell, Javernick-Will, Cabello 2013). Wymiana nieformalna może zatem przybierać formę mentoringu, nieformalnych dyskusji czy korzystania z mediów społecznościowych. Ten rodzaj komunikacji ma duży potencjał do przekazywania ukrytej wiedzy. Mentoring jest jedną z najstarszych metod komunikacji, która jest stale wykorzystywana do przekazywania wiedzy zawodowej z pokolenia na pokolenie. W mentoringu pracownicy zdobywają wiedzę empirycznie podczas asystowania mentorowi (bardziej doświadczonemu pracownikowi). Doświadczeni mentorzy kładą duży nacisk na bezpieczeństwo, dlatego też ich asystenci uczą się bezpiecznych warunków pracy w sposób podświadomy i eksperymentalny (Zamani, Banihashemi, Abbasi 2020).

Przeprowadzono wiele badań, z których wynika, że skuteczna komunikacja w zakresie bezpieczeństwa jest jednym z czynników kultury bezpieczeństwa, które mogą być wykorzystane do poprawy wyników w zakresie bezpieczeństwa organizacji (Zohar, Luria 2005; Pousette, Larsson, Törner 2008; Kines, Lappalainen, Mikkelsen, Olsen, Pousette, Tharaldsen, Tomasson, Törner 2011). Kiedy organizacja zachęca do otwartej komunikacji w kwestiach związanych z bezpieczeństwem, przekazuje silny sygnał o tym, że bezpieczeństwo stanowi wartość w tej organizacji (Hofmann, Stetzer 1998). Komunikacja w zakresie bezpieczeństwa nie powinna być postrzegana tylko jako sposób przekazywania procedur BHP, ale także jako przestrzeń do wymiany pomysłów i poglądów, które pomagają innym uczyć się nowych rzeczy, a także włączania innowacyjnych pomysłów do istniejących procedur. Jeffcott, Pidgeon, Weyman i Walls (2006) podkreślili znaczenie procesu uczenia się dla rozwoju kultury bezpieczeństwa. Zasugerowali oni, że gromadzenie, analiza i dzielenie się odpowiednimi danymi są bardzo ważne dla rozwoju takiej kultury, w której pracownicy nie wahają się zgłaszać swoich błędów lub pomyłek. Pracownicy zazwyczaj dzielą się swoimi błędami, gdy mają pełne zaufanie do kierownictwa, dlatego otwarta i bogata komunikacja staje się ważniejszym czynnikiem w organizacyjnym klimacie bezpieczeństwa nie tylko ze względu na wyniki w zakresie bezpieczeństwa, ale także w celu utrzymania zaufania pracowników (Kines, Lappalainen, Mikkelsen, Olsen, Pousette, Tharaldsen, Tomasson,

Törner 2011). Komunikacja w zakresie bezpieczeństwa powinna być zatem skuteczna i wielokierunkowa: od kierownictwa do pracowników, od pracowników do kierownictwa oraz pomiędzy pracownikami (Umar 2020). Według Vecchio-Sadus (2007) skuteczna komunikacja w zakresie bezpieczeństwa powinna obejmować jasną komunikację i otwartą dyskusję w odniesieniu do kwestii bezpieczeństwa z wszystkimi osobami na różnych szczeblach, w ramach jednej lub wielu organizacji, zachęcanie do bezpiecznych zachowań przez przekazywanie informacji zwrotnych oraz wdrażanie programu zdobywania doświadczeń w zakresie bezpieczeństwa.

Preece i Stocking (1999) przedstawili rozwój zarządzania komunikacją w zakresie bezpieczeństwa w przedsiębiorstwach budowlanych. Podczas ich realizacji regularnie dochodzi do obrażeń, jak i śmierci pracownika. Skuteczna komunikacja w zakresie bezpieczeństwa ma zasadnicze znaczenie dla podnoszenia świadomości bezpieczeństwa i zmniejszania częstotliwości wypadków w branży budowlanej oraz ma dodatkowy efekt w postaci zmniejszania kosztów przedsięwzięcia. Wypadki uczestników podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego skutkują poniesieniem dodatkowych kosztów, obniżając rentowność wykonawcy. Koszty te obejmują przykładowo: grzywny za naruszenie przepisów bezpieczeństwa, składki ubezpieczeniowe, roszczenia stron poszkodowanych, koszty prawne i sądowe, koszty leczenia poszkodowanych oraz likwidacji powstałych szkód czy wreszcie koszty realizacji prac, wynikające z opóźnień spowodowanych wypadkiem. Autorzy twierdzą, że do zmniejszenia liczby wypadków i powiązanych z nimi kosztów należy wykorzystać ulepszone techniki komunikacji w celu zwiększenia świadomości bezpieczeństwa. W swoich badaniach określają skutki korzyści, wynikające z poprawy komunikacji dotyczącej bezpieczeństwa oraz analizują komunikację w celu zidentyfikowania barier dla wydajnej i efektywnej komunikacji. Wskazane zostały techniki usunięcia barier w systemie zarządzania komunikacją w ramach BHP, takie jak zachęcanie przez kierownictwo do dwukierunkowej komunikacji i aktywnego słuchania. Aby zapobiec przeciążeniu w przekazywaniu informacji, kierownictwo powinno dostosować zakres i jakość informacji niezbędnych dla danego uczestnika przedsięwzięcia oraz przekazywać je zgodnie z zasadami *just-in-time*, a więc w sposób jasny, zwięzły i poprawny, tylko w razie potrzeby. Przekaz informacji powinien być również dostosowany do konkretnego pracownika i pełnionej przez niego roli w przedsięwzięciu. Wskazano również przez autorów pracy (Preece, Stocking 1999) potrzebę opracowania systemu zarządzania komunikacją bezpieczeństwa w przedsiębiorstwach budowlanych, powinien on poprawić morale pracowników,

zwiększyć zaangażowanie pracowników w bezpieczne praktyki i zmniejszyć wskaźniki częstotliwości wypadków. System ten musi być częścią ogólnej filozofii zarządzania przedsiębiorstwem budowlanym.

W badaniu (Alsamadani, Hallowell, Javernick-Will 2013) zostały zidentyfikowane wzorce komunikacji w zakresie bezpieczeństwa na podstawie przeprowadzonych wywiadów z członkami załóg budowlanych na realizowanych przedsięwzięciach budowlanych. Wykorzystano w tym celu analizę sieci społecznych (SNA), aby uzyskać miary komunikacji w zakresie bezpieczeństwa, takie jak stopień centralności, gęstość i pośrednictwo w obrębie małych grup pracowników. Wygenerowane socjogramy w wizualny sposób przedstawiały wzorce komunikacji w efektywnych i nieefektywnych sieciach bezpieczeństwa. Porównanie przypadków ujawniło, że częstotliwość i sposób komunikacji są ważnymi czynnikami różnicującymi pomiędzy zespołami przedsięwzięć o niskim i wysokim wskaźniku wypadków. Ekipy osiągające najlepsze wyniki co najmniej raz w tygodniu otrzymują od kierownictwa informację dotyczącą sytuacji BHP na budowie i przechodzą formalne szkolenia. Badania wykazały, że otwarta komunikacja i częste interakcje między pracownikami a przełożonymi odróżniają przedsiębiorstwa budowlane, które mają niski wskaźnik wypadków, od przedsiębiorstw o ich wysokim wskaźniku.

Autorzy (Zamani, Banihashemi, Abbasi 2020) przeanalizowali pośrednią rolę komunikacji w poprawie wyników bezpieczeństwa na budowie. Zebrali i przeanalizowali dane, wykorzystując metodę analizy sieci społecznych (SNA), 36 brygad roboczych. Zauważyli, że otrzymano lepsze wyniki w zakresie bezpieczeństwa, jeśli kanały komunikacyjne zostały wcześniej zaplanowane i wskazane. Wykazali ponadto, że ustanowienie dwukierunkowych kanałów komunikacji wśród kadry kierowniczej i pracowników jest niezbędne dla poprawy BHP na budowie.

Pandit, Albert, Patil i Al-Bayati (2018) przeprowadzili badania analizujące czynniki, które promują lub utrudniają skuteczną komunikację w zakresie bezpieczeństwa w przedsięwzięciach budowlanych. Aby osiągnąć ten cel, ocenili wpływ kultury bezpieczeństwa i spójności brygad roboczych na wykazane poziomy komunikacji w zakresie bezpieczeństwa. Przy użyciu kwestionariusza ankiety zebrali dane empiryczne z 57 miejsc pracy w budownictwie w Stanach Zjednoczonych. Wykorzystując analizę sieci społecznej (SNA) do opracowania wyników, autorzy stwierdzili, że istnieje pozytywny związek pomiędzy kulturą bezpieczeństwa a poziomem komunikacji w zakresie bezpieczeństwa. Ekipy budowlane, które wykazywały wyższy poziom

spójności, ujawniały wyższy poziom komunikacji w zakresie bezpieczeństwa. Należy zatem promować bardziej efektywną komunikację w zakresie bezpieczeństwa wśród pracowników na poziomie brygad roboczych. Oprócz poprawy komunikacji i zarządzania zagrożeniami bezpieczeństwa, takie wysiłki mogą przełożyć się na lepsze wyniki w zakresie bezpieczeństwa i mniejszą liczbę urazów w miejscu pracy. W kolejnych badaniach Pandit, Albert i Patil (2020), podejmując temat rozwijania umiejętności rozpoznawania zagrożeń budowlanych oraz wpływu komunikacji na BHP, również zastosowali metodę analizy sieci społecznych. Zauważyli, że gdy pracownicy częściej i wydajniej (duża gęstość sieci) wymieniali informacje dotyczące bezpieczeństwa, to wówczas wzrastała ich umiejętność rozpoznania zagrożeń. Również aktywny udział w komunikacji kierownika budowy lub innej osoby kierującej realizacją (wysoki stopień centralności w tym zakresie) wpływał znacząco na poprawę bezpieczeństwa i higieny pracy.

Umar (2020) dokonał przeglądu literatury obejmującej okres 39 lat, wskazując 103 czynniki, które wpływają na kulturę bezpieczeństwa w budownictwie. Spośród zebranych wybrał najbardziej dominujące czynniki kultury bezpieczeństwa, czyli: zaangażowanie kierownictwa lub organizacji na rzecz bezpieczeństwa, szkolenia dotyczące bezpieczeństwa, zaangażowanie pracowników w bezpieczeństwo, zachowania pracowników związane z bezpieczeństwem, komunikację w zakresie bezpieczeństwa, odpowiedzialność i sprawiedliwość w zakresie bezpieczeństwa oraz przywództwo w nadzorze. Badania te zatem potwierdzają istotność wpływu efektywnej komunikacji na bezpieczeństwo i higienę pracy w przedsiębiorstwach budowlanych.

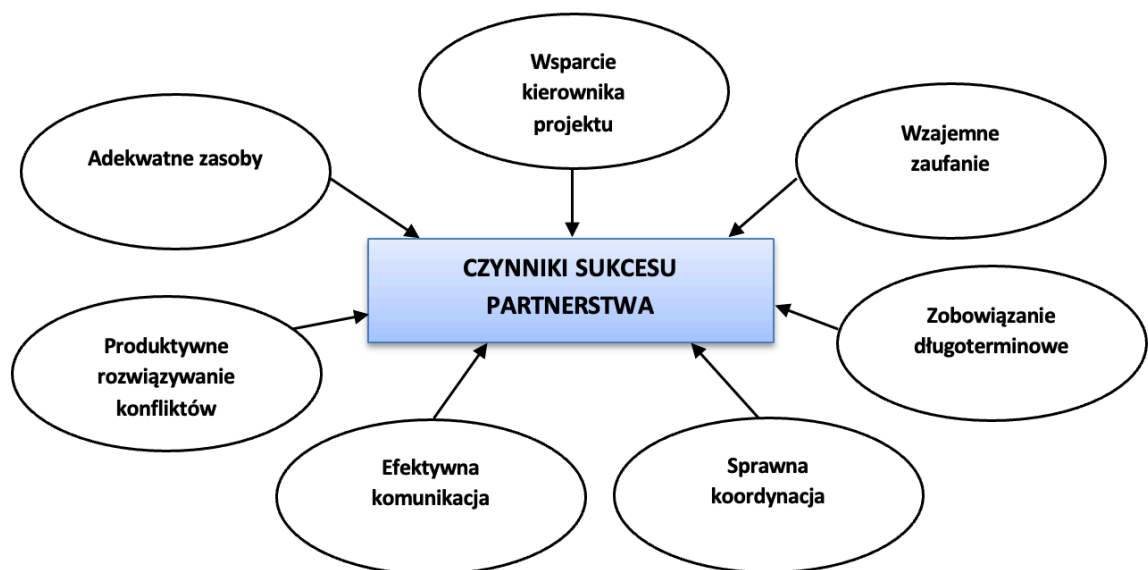
Podczas realizacji budowy istotnym elementem jest zatem efektywne przekazywanie informacji w zakresie BHP, ponieważ wpływa to pozytywnie na bezpieczeństwo i higienę pracy oraz zmniejsza wypadkowość na budowie.

2.6. Związek komunikacji z partnerstwem w przedsiębiorstwie budowlanym

Komunikacja w przedsiębiorstwach budowlanych jest jednym z podstawowych elementów poruszanych w tematyce partnerstwa w budownictwie. Partnerstwo definiuje się jako strategię współpracy, mającą na celu przekroczenie granic organizacyjnych i stworzenie środowiska, w którym członkowie zespołu mogą otwarcie wchodzić w interakcje (Crowley, Karim 1995). Podstawowymi zasadami partnerstwa są:

zaangażowanie pracowników, zaufanie, wzajemny szacunek i komunikacja (CII 1991; Cowan, Gray, Larson 1992; Uher 1999). Proces partnerstwa został zaprojektowany w taki sposób, aby przekształcić tradycyjne podejście w wysoce komunikowaną sieć stron budowlanych (Cheng, Li 2002). Zapewnia on korzyści dla przedsięwzięcia i członków zespołu, takie jak np. skuteczne ramy rozwiązywania konfliktów, poprawę komunikacji, ograniczenie sporów sądowych, mniejsze ryzyko przekroczenia kosztów i opóźnień oraz zwiększone możliwości innowacji (Abudayyeh 1994; Harback, Basham, Buhts 1994; DeVilbiss, Leonard 2000; Black, Akintoye, Fitzgerald 2000).

Black, Akintoye i Fitzgerald (2000) przeprowadzili badania w kilku firmach z doświadczeniem w partnerstwie i bez niego, aby określić czynniki sukcesu i korzyści płynące z partnerstwa. Potwierdzili, że w celu wdrożenia partnerstwa w przedsięwzięciach budowlanych należy spełnić następujące wymagania udanej współpracy: zaufanie, komunikacja, zaangażowanie, jasne zrozumienie ról oraz spójne i elastyczne podejście. Podobnie inni autorzy (Chan, Chan, Chiang, Tang, Chan, Ho 2004) zidentyfikowali kluczowe czynniki sukcesu partnerstwa w budownictwie, uwzględniając komunikację (rys. 6).



Rys. 6. Zestawienie istotnych czynników wpływających na sukces partnerstwa (Chan, Chan, Chiang, Tang, Chan, Ho 2004)

Ng, Rose, Mak i Chen (2002) zidentyfikowali brak otwartej komunikacji jako główny powód niepowodzenia partnerstwa w budownictwie. Skuteczna komunikacja, zdaniem Cheng, Li i Love (2000), umożliwia wymianę wizji i pomysłów, co powoduje mniej nieporozumień oraz pomaga budować zaufanie pomiędzy partnerami na budowie.

Meng (2012) zwraca natomiast uwagę na fakt, że skuteczna komunikacja wymaga wzajemnego zaufania, ale wzajemne zaufanie nie może zastąpić komunikacji. Pomimo istnienia zaufania między partnerami nadal należy zwrócić uwagę na umiejętności komunikacyjne. Porównując te czynniki do wskaźników efektywności, takich jak czas i koszty, autor stwierdza, że komunikacja i zaufanie nie nakładają się, chociaż są ze sobą powiązane. Xie, Wu, Luo i Hu (2010) zbadali, w jaki sposób można poprawić projektowanie konstrukcji obiektu budowlanego w ramach partnerstwa w przedsięwzięciu budowlanym przez badanie problemów komunikacyjnych. W tym celu przeprowadzili badania i wykorzystując metodę analizy sieci społecznych, stwierdzili, że partnerstwo i komunikacja są wzajemnie powiązane. Skuteczna komunikacja ułatwia nawiązywanie stosunków partnerskich pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć, partnerstwo natomiast może wyeliminować wiele barier komunikacyjnych i ma pozytywny wpływ na współpracę w procesie projektowania. Zwrócono uwagę, że czasami może wystąpić przeciążenie w wymianie informacji, jeśli nie zostanie ustanowiony protokół komunikacji. Według autorów skuteczna komunikacja między partnerami w przedsięwzięciu budowlanym prowadzi do lepszej współpracy i ostatecznie do poprawy jakości wyników projektu. Radziszewska-Zielina i Szewczyk w wielu publikacjach (2011; 2014b; 2015; 2016) wskazywali na komunikację jako podstawowy czynnik partnerstwa w budownictwie. W szczególności w badaniach (Radziszewska-Zielina, Szewczyk 2014a) autorzy wskazali efektywną komunikację jako miarę partnerstwa, która wpływa na czas i koszt przedsięwzięcia. W badaniach (Szewczyk, Radziszewska-Zielina 2020) przedstawiono cyfrowy system do kontroli i oceny relacji partnerskich podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych. System ten dostarcza rekomendacji, które mogą poprawić określone parametry relacji partnerskich, wśród których uwzględniona została efektywna komunikacja.

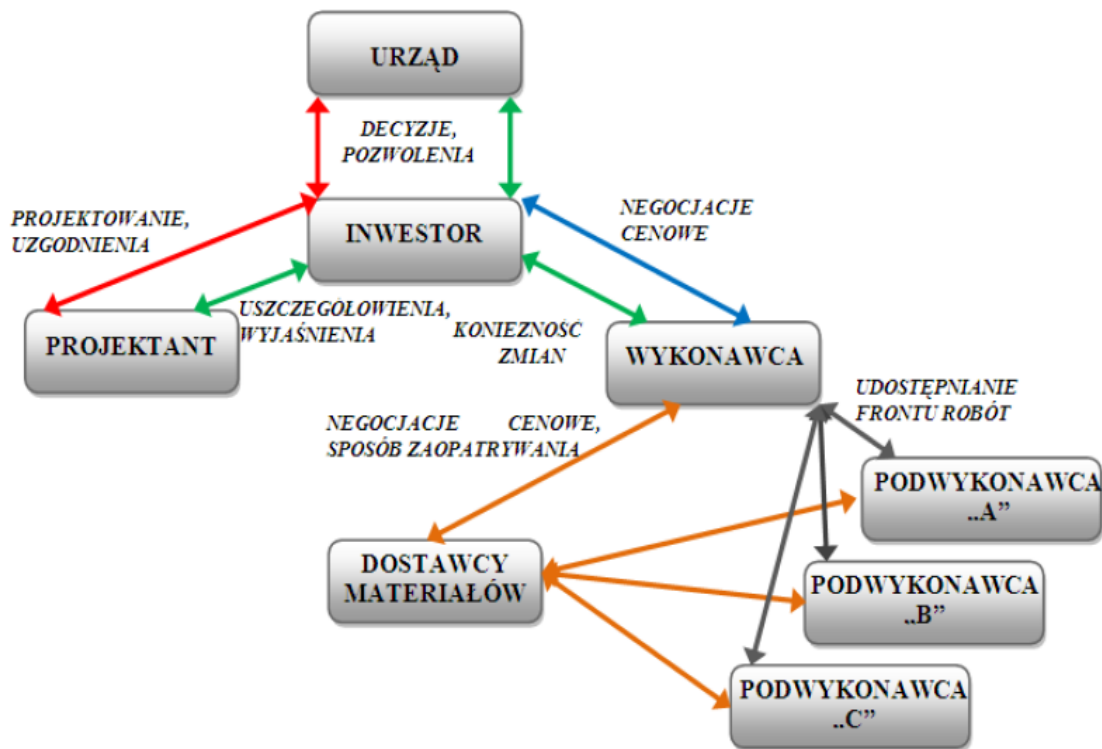
Reasumując, pozytywny wpływ partnerstwa w budownictwie jest udowodniony w wielu publikacjach. Jednocześnie niektórzy autorzy zwracają uwagę, że komunikacja jest podstawową cechą wpływającą na funkcjonowanie partnerstwa. Bez efektywnej komunikacji i zaufania między uczestnikami przedsięwzięć budowlanych partnerstwo nie byłoby możliwe.

2.7. Komunikacja jako czynnik wpływający na logistykę w realizacji budowy

Realizacja przedsięwzięć budowlanych uzależniona jest od sprawnej obsługi logistycznej, odpowiedzialnej za dostarczenie niezbędnych zasobów, czyli materiałów, urządzeń, ludzi, pieniędzy i informacji. Całością zjawisk związanych z przepływem zasobów i uruchamiającym go przepływem informacji zajmuje się logistyka (Sobotka 2005). Logistykę budowy można uznać za skomplikowaną dyscyplinę ze względu na fragmentaryczność zadań i wielu interesariuszy, którzy są zaangażowani w jej proces (Omar, Ballal 2009). Dlatego skuteczna wymiana informacji w celu komunikacji i koordynacja między różnymi interesariuszami mają kluczowe znaczenie dla usprawnienia zarządzania procesami logistyki budowy (Zheng, Tetik, Törmä, Peltokorpi, Seppänen 2020). Wymaga to zaawansowanych informacji, formalizacji i interoperacyjności pomiędzy zainteresowanymi stronami i stosowania różnych systemów informacyjnych. Brakuje jednak odpowiedniego standardu zarządzania informacją, który mógłby sformalizować informacje z procesu logistyki budowlanej (Zheng, Tetik, Törmä, Peltokorpi, Seppänen 2020).

Informacje logistyczne powinny prawidłowo współgrać z koordynacją prac budowlanych, ponieważ prognozowanie dostaw materiałów jest bezpośrednio związane z harmonogramem budowy (Hamzeh, Tommelein, Ballard, Kaminsky 2007). W związku z tym wymagany jest dokładny i terminowy przepływ informacji, aby sprawnie zarządzać logistyką (Titus, Bröchner 2005). Autor (Szymczak 2013) zauważa, że w łańcuchach dostaw występują trzy podstawowe przepływy: rzeczowy, informacyjny i finansowy. Rola sprawnego przepływu informacji w łańcuchu dostaw jest szeroko podkreślana w literaturze (Gattorna, Walters 1996; Handfield, Nichols 1999; Fawcett, Ellram, Ogden 2007). Łańcuch dostaw nie może funkcjonować bez przepływów informacyjnych między jego ogniwami, ponieważ nie dojdzie wówczas do żadnej transakcji, której skutkiem byłoby przemieszczanie jakichkolwiek zasobów.

Odnosząc przepływ informacji w zakresie logistyki do planowania realizacji budowy, można wskazać, że przepływ ten następuje we wszystkich kierunkach pomiędzy: inwestorem, organami administracji publicznej, projektantem, wyłonionym już wykonawcą robót oraz dostawcami – sprzętu, materiałów i usług (podwykonawcami) (Gajzler, Dziadosz 2014). Układ zależności związany z przepływem informacji dla budowlanego procesu inwestycyjnego został przedstawiony na rysunku 7.



Rys. 7. Przykładowy schemat przepływu informacji wśród uczestników budowlanego procesu inwestycyjnego (Gajzler, Dziadosz 2014)

Podobnie Książkiewicz i Mierkiewicz (2015) uważają, że przepływ informacji stanowi czynnik niezbędny do funkcjonowania logistyki. Wynika to z definicji logistyki, wskazującej na integralność i nierozłączność przepływu materiałów i informacji o tych materiałach oraz przebiegu procesu ich dostawy. Obieg i wymiana informacji odbywają się pomiędzy wszystkimi podmiotami czynnymi i biernymi uczestniczącymi w danym łańcuchu dostaw. Coraz większe skomplikowanie i zasięg operacji logistycznych powodują, że konieczne jest posługiwanie się rozrastającą się ilością danych. Wspomniani autorzy dokonali podziału informacji funkcjonujących w łańcuchach dostaw ze względu na ich zawartość na trzy grupy: informacje o materiałach (dotyczą wszelkich cech i właściwości towaru transportowanego lub magazynowanego), informacje o warunkach i zasadach dostawy/magazynowania/przeładunków oraz o kosztach (zawierają np. wycenę kosztu usługi, wymagania związane z organizacją obsługi materiału), awizacje i ustalenia czasowe. Każda z wymienionych kategorii informacji ma krytyczne znaczenie dla powodzenia operacji w łańcuchu dostaw, mimo że wykorzystywane są one na różnych etapach realizacji dostawy przez różne podmioty. Książkiewicz i Mierkiewicz (2015) wskazują również, iż dla prawidłowego funkcjonowania procesu logistycznego niezbędne jest stworzenie zasad obiegu

informacji w przedsięwzięciu. Zasady mają wskazywać osoby odpowiedzialne za przekazywanie określonych informacji na kolejnych etapach łańcucha dostaw oraz wytyczne przekazywania niezbędnych informacji (ich zakres, czas przekazania oraz koordynacji ich przepływu i w jakim zakresie będzie przekazywane bądź koordynowane przekazanie niezbędnych informacji pozostałym podmiotom). Wyznaczenie zasad oraz zarządzanie komunikacją ma fundamentalne znaczenie, ponieważ ich brak może spowodować niekompletność przekazywanych informacji, ich brak lub powielanie się. Sprawnie funkcjonujący system przepływu informacji (ich uzyskania, przetwarzania i udostępniania) zapobiega powstawaniu opóźnień lub nieprawidłowości w dostawie materiałów, a w konsekwencji wzrostu kosztów (Książkiewicz, Mierkiewicz 2015).

Skuteczna komunikacja i związany z nią przepływ informacji są zatem nierozdzielnie połączone z logistyką budowlaną. Niezbędne jest jednak kompleksowe zarządzanie komunikacją, aby wymagane informacje dotarły do odpowiednich uczestników budowy na czas, co pozwoli na realizację budowy zgodnie z harmonogramem.

2.8. Aspekty formalnej i samoorganizującej się komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym

Komunikacja może odbywać się jako przepływ informacji formalnymi lub samoorganizującymi się kanałami komunikacji (Thomas, Thucker, Kelly 1998). Formalna komunikacja jest podstawą każdej organizacji przedsięwzięcia budowlanego. Ten rodzaj komunikacji zależy od struktury organizacji przedsięwzięcia i jego uczestników oraz jest kluczowym czynnikiem w budowaniu stosunków w tymczasowej organizacji, jaką jest budowa. Formalna komunikacja jest wskazana przez hierarchiczne struktury organizacyjne w formie określonej w umowie (Kietliński 2016). Umowy dla przedsięwzięć budowlanych realizowanych w ramach inwestycji publicznych i prywatnych mogą znacząco się różnić.

Jednym z popularnych, powszechnie stosowanych na świecie wzorców kontraktowych umów o prace projektowe lub roboty budowlane, mających w założeniu ułatwić realizację inwestycji budowlanej dla wszystkich jej uczestników, są Wzory Warunków Kontraktowych opracowane przez Międzynarodową Federację Inżynierów Konsultantów (ang. FIDIC) (Jaworski 2017). Warunki kontraktowe FIDIC najczęściej stosowane są podczas realizacji inwestycji ze środków publicznych.

Warunki kontraktowe FIDIC nie są jednak ani prawnie, ani obligatoryjnie zalecane do powszechnego stosowania w tworzeniu umów na polskim rynku budowlanym. Żaden akt prawny obowiązujący w Polsce (Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane w szczególności) nie posługuje się terminem FIDIC (Jaworski 2017). Inwestor prywatny, w odróżnieniu od państwowego, ma dużą swobodę w zawieraniu umów na realizację przedsięwzięć budowlanych. Wymaga się jedynie, aby zawarta umowa była zgodna z obowiązującym w danym czasie prawem, przy czym inwestor prywatny nie musi stosować skomplikowanego prawa zamówień publicznych lub innych procedur obligatoryjnych dla inwestora publicznego i dzięki temu może uniknąć wszystkich związanych z tym komplikacji proceduralnych, prowadzących do spowolnienia procesu inwestycyjnego (Pisarska, Pruszyński 2018). Niemniej również w tym przypadku obowiązujące aspekty prawne porządkują zapisy tak, aby procedury były przejrzyste i czytelne dla wszystkich zainteresowanych stron. Przy zamówieniach niepublicznych, które nie są tak bardzo sformalizowane, umowy i obowiązujące procedury są ustalane każdorazowo indywidualnie przez inwestora w zależności od charakteru obiektu czy robót budowlanych oraz jego wymagań i możliwości finansowych (Pisarska, Pruszyński 2018). Nie można zatem uznać procedury FIDIC jako standardowej dla wszystkich przedsięwzięć budowlanych.

Według warunków kontraktowych FIDIC wszystkie informacje przekazywane są przez inżyniera kontraktu, który nie jest stroną umowy zawartej między wykonawcą a zamawiającym. Działa on (zarządza kontraktem) w imieniu zamawiającego podczas przygotowania inwestycji, realizacji robót oraz w okresie zgłaszania wad, posiadając wiele uprawnień i obowiązków, w tym: administrowanie kontraktem, zatwierdzanie podstawowych dokumentów kontraktu, nadzór nad robotami, wydawanie decyzji, poleceń, opinii i zgód, wystawianie przejściowych świadectw płatności, sporządzanie raportów o postępie robót itp. Jego doświadczenie, kwalifikacje i komunikacja z zamawiającym oraz wykonawcą mają znaczenie dla powodzenia całego przedsięwzięcia (Leśniak 2020). Jak zauważają Leśniak i Plebankiewicz (2011) nieodpowiedni inżynier kontraktu powoduje powstawanie problemów w trakcie kontraktu. Procedury FIDIC wskazują na konieczność wyboru inżyniera kontraktu przede wszystkim w oparciu o kryteria jakości, czego zamawiający wydaje się nie dostrzegać. Takie podejście prowadzi często do wyboru niekompetentnych zarządzających i późniejszych problemów z realizacją inwestycji.

Ścieżka komunikacji, która polega na tym, że inżynier kontraktu otrzymuje wszystkie informacje i przekazuje je kolejnym osobom, nie musi być ścieżką optymalną pod względem szybkości przepływu informacji. Brakuje badań skuteczności ścieżki komunikacji według wytycznych FIDIC i porównania jej do innych alternatywnych sposobów komunikowania się w kontekście, jakie informacje i przez kogo powinny być przekazywane. Zauważyć można zatem potrzebę rozszerzenia formalnej ścieżki komunikacji wskazanej w warunkach kontraktowych FIDIC przez zawarcie w niej składowych samoorganizujących się ścieżek komunikacji.

Dainty, Moore i Murray (2006), odnosząc się do przeglądu literatury, stwierdzają, że umowne, formalne schematy organizacyjne często są niedokładne i zwykle odzwierciedlają zbyt optymistyczne oczekiwania dotyczące komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych. Podobnie Maurer (1992) uważa, że nie można z góry zbudować struktury organizacyjnej, która będzie wystarczająco dynamiczna, aby poradzić sobie ze zmianami zachodzącymi w czasie trwania przedsięwzięcia budowlanego (dotyczy to przede wszystkim złożonych przedsięwzięć). Bodensteiner (1970) ujawnił, że jeśli wystąpią problemy organizacyjne lub istnieje wysoki poziom niepewności, wtedy ludzie polegają na samoorganizujących się kanałach komunikacji. Zauważa, że przypadki niepewności w przedsięwzięciach budowlanych są bardzo powszechne w wyniku nieplanowanych incydentów prowadzących do „kryzysu przedsięwzięcia”. Rozwiązanie takiego kryzysu zwykle wymaga podjęcia szybkich decyzji przez jedną lub więcej osób w zespole.

Jeśli odpowiednia komunikacja nie odbędzie się za pomocą formalnych kanałów komunikacji, to na pewno nastąpi to za pomocą samoorganizujących się ścieżek (Sigband, Bell 1989). Kanały komunikacji formalnej, jak i samoorganizującej się zazwyczaj tworzą strukturę sieciową (Xie, Thope, Baldwin 2000). Dainty, Moore i Murray (2006) twierdzą, że sieci formalne są sieciami zdefiniowanymi według struktury organizacyjnej (zasad i procedur) oraz uznanych relacji między ludźmi i zespołami. Jednocześnie z sieciami formalnymi powstają i współistnieją sieci samoorganizujące się, będące równie ważne, a być może nawet ważniejsze. Autorzy sugerują, że komunikacja ma silniejsze oddziaływanie na strukturę organizacyjną niż struktura organizacyjna na komunikację.

Raport Tavistock Institute (Crichton 1966) był pierwszym badaniem, które dokumentowało samoorganizujące się struktury w procesie budowlanym. Sugerował, że powstające samoorganizujące się struktury bardziej realistycznie pomagają

podejmować decyzje i elastyczniej dopasowują się do dynamicznego środowiska przedsięwzięć budowlanych. Raport sugerował również, że systemy samoorganizujące się umożliwiają zakończenie przedsięwzięć bez większych opóźnień.

Badania przeprowadzone w USA (Hopper 1990) dla Instytutu Przemysłu Budowlanego (CII) odnoszą się do samoorganizującej się struktury, twierdząc, że jest ona zbudowana wokół trzech uzasadnionych potrzeb: utrzymywania powiązań komunikacji, koordynacji oraz rozwiązywania problemów i podejmowania decyzji, gdy ustalona formalna struktura nie działa prawidłowo. Wikforss (2006) wskazuje, że w sytuacjach, gdy formalne kanały komunikacji nie są wystarczające, kanały samoorganizujące się rozwijają i służą jako „pomosty” obejmujące problematyczne luki komunikacyjne. Dlatego komunikacja formalna oraz samoorganizująca powinny się dopełniać oraz dostosowywać do fazy realizowanego przedsięwzięcia. Samoorganizująca się komunikacja zależy od indywidualnych potrzeb uczestników przedsięwzięcia budowlanego, istnieje podczas każdej realizacji i zwykle jest spontaniczna. Występuje w grupie ludzi, w której dana osoba ma jakieś interesujące informacje, pozwalające w szybszy sposób rozwiązać pojawiające się problemy podczas realizacji przedsięwzięcia (Landin, Kindahl 2013). Dainty, Moore i Murray (2006) również odnoszą się do samoorganizującej się komunikacji jako ważnego elementu umożliwiającego sukces przedsięwzięcia budowlanego. Schemat organizacyjny przedsięwzięcia budowlanego jest formalnym narzędziem komunikacji, natomiast samoorganizująca się komunikacja może być zidentyfikowana jako komunikacyjne kanały i ścieżki, które pojawiają się naturalnie. Te naturalne kanały jednak nie mogą być postrzegane jako całkowicie niekontrolowane, ale pojmowane jako częściowo kontrolowane kanały, umożliwiające uczestnikom przedsięwzięcia skuteczne wykonanie swojej roli. Autorzy argumentują również, że samoorganizująca się komunikacja umożliwia zakończenie przedsięwzięcia bez większych opóźnień.

Gorse, Emmitt i Lowis (1999) w przeprowadzonych studiach przypadku wykazali, że większość problemów w organizacji omawiano i rozwiązywano w sposób nieformalny. Autorzy zauważyli nawet, że problemy komunikacyjne wzrosły, kiedy komunikacja stała się bardziej formalna. Emmitt i Gorse (2007) w kolejnych badaniach potwierdzili, że istnieje potrzeba skutecznej komunikacji na dwóch poziomach: wewnątrzorganizacyjnym (w ramach organizacji) i międzyorganizacyjnym (między organizacjami). Granice organizacyjne w ramach przedsięwzięć budowlanych ciągle się zmieniają, osoby dołączają i opuszczają zespoły na określonych etapach. Na wczesnych

etapach przedsięwzięcia poziom informacji jest stosunkowo niski i nieuporządkowany, a w miarę upływu czasu ilość informacji wzrasta.

Zarządzanie w dynamicznych warunkach przedsięwzięcia budowlanego jest trudne, dlatego Laufer, Shapira i Telem (2008) przeprowadzili badania, obserwując kierowników projektu, wybranych pod kontem ich licznych sukcesów w dziedzinie zarządzania w wiodących przedsiębiorstwach budowlanych, i sprawdzając ich wydajność w zarządzaniu dynamicznym środowiskiem. Badanie te wykazały, że kierownicy projektu na budowie byli silnie zorientowani na werbalne przekazywanie informacji (prawie 80% ich zaangażowania). Spędzili większą część swoich dni roboczych na spotkaniach (60% ich działalności, z czego prawie 80% było nieplanowanych) i wykazali wyraźną preferencję do interakcji nieformalnych (podczas 93% ich działalności i 88% czasu), umożliwiających bezpośredni kontakt lepiej niż planowane, oficjalne i formalne spotkania. Komunikacja obejmowała bezpośrednią i nieformalną komunikację opartą na interakcji z ludźmi, zbieraniu i dzieleniu się informacjami. Badani podkreślali jednocześnie istotną rolę całej komunikacji w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym w dynamicznym środowisku.

Gardounis, Chong i Wang (2017) zauważają, że znajomość współzależności wykonywania zadań przez uczestników przedsięwzięcia budowlanego i przepływu informacji między nimi jest ważna w badaniu procesów w przedsięwzięciach budowlanych. Zauważają oni rozwijanie się relacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych poza tradycyjnymi strukturami hierarchicznymi i twierdzą, że taki przepływ informacji oraz wymiana wiedzy powinny być badane. Odpowiednią metodą jest stosowanie analizy sieci społecznych. Autorzy wskazują, że uzgodnienia umowne i procesy formalnej komunikacji dostarczają ograniczoną ilość informacji, podkreślając wagę samoorganizującej się komunikacji. Wykazali, że sieci samoorganizujące się mają kluczowe znaczenie dla przedsięwzięć budowlanych, ponieważ aktywują się wraz z pojawieniem się wszelkich nieoczekiwanych wyzwań i pozwalają na szybkie znalezienie rozwiązania problemu.

Podsumowując temat formalnej i samoorganizującej się komunikacji, zauważono, że obie formy są równie istotne podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego, ponieważ wzajemnie się uzupełniają. Podczas zarządzania przepływem informacji powinno się zatem zwrócić uwagę na oba te aspekty.

2.9. Przeciążenie informacyjne w ramach realizacji budowy

Nie tylko brak komunikacji lub jej niewystarczająca ilość powoduje problemy w budownictwie, ale także jej nadmiar. Sytuacja nadmiaru informacji została w organizacjach zdefiniowana jako brak równowagi pomiędzy zapotrzebowaniem organizacji na informacje a sprawnością przetwarzania tych informacji (Edmunds, Morris 2000). Autorzy (Davenport, Prusak 1997) podkreślili, że problem nadmiaru informacji w skali organizacji jest konsekwencją niewłaściwego zarządzania informacją. Już Guevara i Boyer (1981), badając przyczyny problemów z komunikacją w przedsiębiorstwach budowlanych, wskazali na przeciążenie informacyjne. W obecnych czasach przemysł budowlany wytwarza ogromne ilości danych i informacji, jednak bez struktury informacji, organizacji i pomocnych objaśnień ta ogromna ilość danych, dostępnych dla kierowników projektów i zespołów realizujących przedsięwzięcie budowlane, prowadzi do przeciążenia informacyjnego. Dlatego też potrzebne jest zarządzanie komunikacją, aby przewyciężyć możliwość przeciążenia informacyjnego przy zachowaniu zdolności ludzkiej percepcji (Songer, Hays, North 2004).

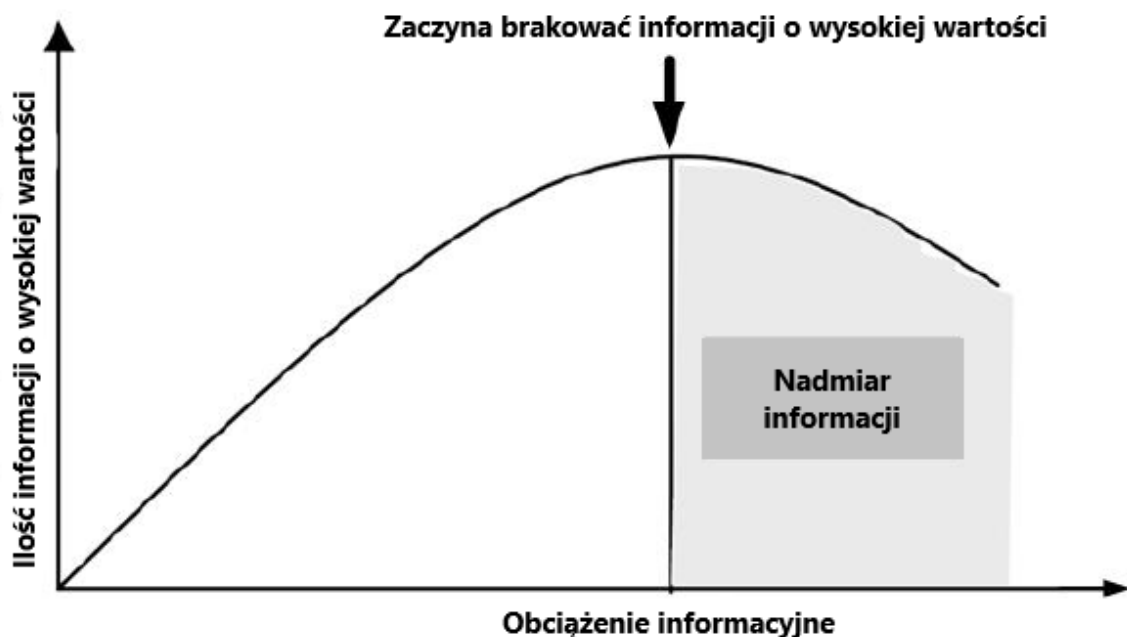
Chociaż istnieje wiele badań wskazujących, że wzrost ilości komunikacji lub zmiana charakteru przekazywanych informacji wiąże się z poprawą efektywności, zdaniem Zhang, Liu i Chan (2018) błędne jest przyjmowanie wzrostu liniowego rozkładu między ilością przetwarzanych informacji a efektywnością. Nieograniczona komunikacja może również obniżać wydajność i efektywność przedsięwzięcia (Zhang, Liu, Chan 2018). Powszechnie wiadomo, że zbyt małe przetwarzanie informacji powoduje słabe wyniki efektywności (np. problemy przy opracowywaniu projektu, niepowodzenia przedsięwzięcia). Jednak za dużo informacji również wpływa na efektywność i może powodować przeciążenie informacyjne. Autorzy ci uważają, że przetwarzanie zbędnych informacji zbyt obciąża zdolności poznawcze ludzi, co utrudnia normalne przetwarzanie niezbędnych informacji. Koordynacja i przetwarzanie informacji nakładają dodatkowe obciążenia na uczestników zespołu realizującego przedsięwzięcie budowlane i należy je ograniczyć do minimum niezbędnego do osiągnięcia integracji.

Jelonek i Chomiak-Orsa (2011) zauważają, że wystąpienie sytuacji przeciążenia informacyjnego w organizacji ma wielorakie konsekwencje. Najważniejsze z nich to: niezdolność do przetwarzania informacji, pojawianie się sytuacji sprzyjających eskalacji generowania informacji oraz rosnące problemy z wyszukiwaniem właściwej informacji wśród informacji nieistotnych lub nieaktualnych. Pracownicy w danym momencie nie

mogą dotrzeć do informacji niezbędnej do wykonania konkretnego zadania, a sytuacja przeciążenia informacyjnego w organizacji wpływa niekorzystnie na proces podejmowania decyzji.

Według Löfgren (2007) ilość informacji przekazywanych na plac budowy może być przytłaczająca i często powoduje niską jakość informacji w terenie. W rezultacie pracownicy budowlani są zmuszeni do rozwiązywania problemów i ponownego wykonania już raz wykonanego zakresu robót.

Autorzy (Al-Zubaidi, Dheyaa 2019) twierdzą, że istnieje związek pomiędzy przeciążeniem informacyjnym a spadkiem efektywności realizacji przedsięwzięcia. Większa ilość informacji, ponad pewien wymagany poziom, może minimalizować efektywność podejmowania decyzji. Rysunek 8 pokazuje zależność między wartością informacji a przeciążeniem informacyjnym, przy czym nadmiar informacji skutkuje zmniejszeniem ilości cennych informacji, z którymi może sobie poradzić osoba lub organizacja (Tang, Zhao, Austin, Darlington, Culley 2019).



Rys. 8. Zjawisko przeciążenia informacyjnego (Tang, Zhao, Austin, Darlington, Culley 2019)

Autorzy ci zauważyli, że występuje przeciążenie informacyjne z powodu przekazywania, a następnie przechowywania ogromnej ilości informacji. Zbyt duża ilość informacji prowadzi do braku informacji o wysokiej wartości, co wydłuża czas i utrudnia podejmowanie decyzji przez zarządzających przedsięwzięciem budowlanym. Archiwizowanie wszystkich dostępnych informacji sprawia, że ponowne wykorzystanie

ich w przyszłości jest mało prawdopodobne. Stwierdzono, że należy poddać ocenie istotność informacji i zarchiwizować tylko takie informacje, które będzie można wykorzystać w całym cyklu życia budynku oraz podczas realizacji kolejnych przedsięwzięć budowlanych. Wykazano potrzebę badań nad zarządzaniem informacją w budownictwie, a zwłaszcza problemami związanymi z ciągle rosnącą ilością informacji.

Stosując kompleksowe podejście do tematu komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych, należy uwzględnić sytuację braku informacji i słabej komunikacji, a jednocześnie wziąć pod uwagę sytuację nadmiaru komunikacji, która jest w obecnych czasach bardzo powszechna. Konieczne jest dostarczanie uczestnikom przedsięwzięcia budowlanego wymaganej ilości informacji, niezbędnej do realizacji ich zakresu robót w ramach procesu zarządzania komunikacją w tym przedsięwzięciu.

2.10. Zarządzanie komunikacją w przedsięwzięciu budowlanym oraz metody jej oceny

W wielu pracach badawczych proponowano różne podejścia do poprawy efektywności komunikacji i zarządzania nią w przedsięwzięciach budowlanych. Jednocześnie w wielu publikacjach wskazywana jest potrzeba zarządzania komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych, ale brakuje metod to umożliwiających. Złożony charakter przedsięwzięć budowlanych, ich dynamika i tymczasowość utrudniają wykorzystanie modeli do zarządzania komunikacją, które opracowane zostały dla innych gałęzi przemysłu. Marshall-Ponting i Aouad (2005) stwierdzili, że teoria poprawy komunikacji, stanowiąca połączenie narzędzi technologicznych i relacji społecznych w zarządzaniu ludźmi, daje najlepsze wyniki. Zakłada się, że projekt, specyfikacje i harmonogramy zawarte w dokumentacji kontraktowej są kompletne i wolne od błędów, lecz w praktyce rzeczywistość jest inna (Calvert, Bailey, Coles 1995; Harvey, Ashworth 1997; Gorse 2002). Duża część interakcji podczas fazy realizacji budowy dotyczy zatem ostatecznego opracowania szczegółowego projektu architektoniczno-budowlanego oraz integracji i koordynacji części branżowych w ramach uzgodnionych parametrów czasowych, kosztowych i jakościowych (Emmitt, Gorse 2007). Kluczowym celem projektantów powinno być w tej sytuacji zapewnienie, aby przepływ informacji nie zakłócał procesu budowy, ale nie zawsze jest to osiągnięte w praktyce. Badania przeprowadzone przez Loosemore'a (1996) potwierdziły, że niewystarczająca

do wykonania zadania ilość informacji może skutkować jego wadliwą realizacją. Emmitt i Gorse (2007) stwierdzają, że nierealistyczne jest oczekiwanie od uczestników przedsięwzięcia budowlanego, że będą wiedzieć wszystko lub będą przygotowani na każdą ewentualność. Należałoby zatem, zdaniem autorów, stymulować przepływ informacji i wpływać na dostarczanie odpowiednich, niezbędnych wiadomości uczestnikom przedsięwzięcia w celu pomyślnej jego realizacji.

Flager, Welle, Bansal, Soremekun i Haymaker (2009) pokazują, że członkowie zespołu projektowego w budownictwie wykorzystują aż 58% swojego czasu na przepływ informacji. Dzięki wydajniejszemu systemowi zarządzania informacjami czas ten można skrócić i wykorzystać w działaniach generujących wartość dla realizowanego przedsięwzięcia. Reinertsen (1997) twierdzi, że ułatwienie skutecznej komunikacji wymaga ograniczenia bieżącego przepływu informacji. Gdy jednocześnie krąży zbyt wiele informacji, trudno jest oddzielić to, co ważne, od tego, co nieistotne. Również Galaz-Delgado, Herrera, Atencio, Muñoz-La Rivera i Biotto (2021) zauważają, że w fazie projektowania koordynacja jest związana z zarządzaniem przepływem informacji, który w przypadku złego zarządzania powoduje, że projektanci cierpią na przeciążenie informacyjne. W takich przypadkach zwiększony przepływ informacji zmniejsza efektywność i skuteczność komunikacji pomiędzy projektantami. Autorzy wskazują, że zrozumienie procesu, w którym informacje przepływają między uczestnikami przedsięwzięcia, jest niezbędne do usprawnienia zarządzania projektowaniem. Jedną z głównych trudności w pracy zespołu projektowego jest uzyskanie ciągłego i płynnego przepływu informacji. Gdy to się nie udaje, dochodzi do opóźnień i przeróbek, które negatywnie wpływają na pracę zespołu, obniżając jakość produktu końcowego.

Dawood, Akinsola i Hobbs (2002) zauważają, że pomimo istnienia wielu badań, trudno jest sformalizować proces komunikacji w celu wymiany informacji w ramach przedsięwzięcia budowlanego bez wpływu na jej jakość. W swoich badaniach autorzy proponują metodologię i system zarządzania dokumentacją, który ułatwia i usprawnia komunikację w celu wymiany danych i informacji między członkami zespołu przedsięwzięcia budowlanego. Przedstawiają oni narzędzie informatyczne do zarządzania dokumentami, ich wyszukiwania i przechowywania projektów w ramach pierwszej fazy przedsięwzięcia budowlanego. Według autorów skuteczne środki komunikacji wspomagające zarządzającego procesem budowlanym zostały wyróżnione jako jeden z warunków poprawy efektywności w przedsięwzięciu budowlanym.

W badaniach (Motzko, Mukherjee, Nowak, Schmitz 2014) stwierdzono, że nadal podstawowym narzędziem komunikacji na placu budowy pozostaje ustna, bezpośrednia lub telefoniczna, wymiana informacji. Forma ta ma tę ogromną przewagę nad innymi, że umożliwia bardzo szybkie podejmowanie decyzji. Niezbędne do tego jest partnerstwo oparte na współpracy i zaufaniu pomiędzy interesariuszami. Jednakże rosnący nacisk na kwestie natury prawnej sprawia, że konieczne jest udokumentowanie całej treści rozmów w formie protokołów i włączenie ich do systemu sprawozdawczości na placu budowy. Poza komunikacją ustną stosowane są również środki komunikacji w postaci drukowanych dokumentów oraz komunikacja cyfrowa. Autorzy (Motzko, Mukherjee, Nowak, Schmitz 2014) zwracają również uwagę, że istotnym narzędziem komunikacji są zebrania (rada budowy). Zebrania, organizowane regularnie (raz w tygodniu) z udziałem wszystkich uczestników realizacji budowy i przedstawiciela inwestora, mają na celu jak najszybsze i najbardziej praktyczne rozwiązanie zaistniałych problemów oraz weryfikację postępów robót.

Jelonek, Nowakowska-Grunt i Ziara (2014) przeprowadzili badania wśród menadżerów najwyższego i średniego szczebla w 23 przedsiębiorstwach budowlanych w Polsce. Wykazali oni, że najwyższa dojrzałość zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi w Polsce występuje w obszarach wiedzy związanych z zarządzaniem kosztami i zarządzaniem czasem. Najniższa dojrzałość zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi występuje natomiast w obszarach wiedzy związanych z zarządzaniem ryzykiem i zarządzaniem komunikacją. Wskazali oni, w wytycznych dla rozwoju przedsiębiorstw, w celu wzrostu efektywności procesów budowlanych poprawę poziomu zarządzania, dążąc do rozwiązań optymalnych z perspektywy przyjętych kryteriów. Zerjav i Ceric (2009) po przeanalizowaniu literatury badawczej dotyczącej zarządzania komunikacją w budownictwie stwierdzili, że uczestnicy przedsięwzięć budowlanych potrzebują nowego podejścia do komunikacji wewnątrz realizowanych przedsięwzięć. Według autorów podejścia te powinny opierać się na ulepszonych paradygmatach efektywności, wspólnej pracy i powinny w pełni uwzględniać złożony charakter procesów komunikacyjnych w ramach przedsięwzięć budowlanych. Powinny one obejmować różne poziomy kilku podstawowych aspektów: technologicznych, ludzkich i organizacyjnych, oraz powinny także uzupełniać istniejące formalne plany pracy w budownictwie i być łatwe do wdrożenia i użytkowania. Pietroforte (1997) twierdzi, że zrozumienie struktury organizacyjnej jest niezbędne, ponieważ wpływa to na sposób, w jaki rozwiną się wzorce komunikacji.

Zima (2012) stwierdza, że efektywne zarządzanie informacjami jest „kluczem do sukcesu” przedsięwzięcia budowlanego. Aby zwiększyć efektywność zarządzania informacjami, wskazał, że należy:

- uwzględnić odpowiedni poziom wiedzy technicznej uczestników – informacje muszą być zrozumiałe w odniesieniu do całościowego zakresu prac, umożliwiając prowadzenie merytorycznych dyskusji z każdym specjalistą;
- zwiększyć świadomość społeczną – należy obserwować uczestników przedsięwzięcia, czy rozumieją istotne informacje i czy dopasowują poziom dyskusji i interpersonalnej dynamiki do stworzenia bardziej przyjaznego środowiska pracy;
- wykorzystywać nowe narzędzia informatyczne i techniki – niezbędna jest wiedza, jak różne narzędzia i procesy wpływają na efektywność pracy;
- stosować dynamiczne planowanie – trzeba umieć opracować szczegółowe i kompleksowe plany, ale również szybko dostosować swój plan w oparciu o zmieniającą się sytuację.

Zarządzanie komunikacją można podzielić na trzy etapy: planowanie, realizację i monitorowanie (PMI 2017). Autorzy (Setiawan, Hansen, Fujiono 2021) w swoim opracowaniu skupili się na pierwszym etapie, czyli planowaniu komunikacji. Celem było zbadanie, w jakim stopniu planowanie komunikacji zostało skutecznie zastosowane w kilku przedsięwzięciach budowlanych w Dżakarcie, oraz pomiar, jak duży ma to wpływ na wyniki tych przedsięwzięć. Autorzy zauważyli, że niewiele dotychczasowych badań dotyczyło zagadnień planowania komunikacji w budownictwie, a brak planowania komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych może powodować różne problemy, takie jak wzrost kosztów i przekroczenie szacowanego czasu realizacji projektu. Autorzy zastosowali podejście ilościowe pomiaru wpływu planowania komunikacji pod kątem realizacji przedsięwzięcia budowlanego. W pierwszym etapie rozesłali do docelowej grupy (wysoko wykwalifikowanych i doświadczonych inżynierów budownictwa) kwestionariusz badań. Otrzymane wyniki wskazały, że planowanie komunikacji wpływa „znaczaco” na efektywność projektu. Autorzy w badaniach jednak tylko wskazują czynniki umożliwiające planowanie komunikacji w budownictwie, nie przedstawiając konkretnej metody planowania komunikacji. Badania te potwierdzają jednak, jak starannie powinno się zarządzać procesem komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych, a zwłaszcza planowaniem komunikacji.

Čulo i Skendrović (2010), poruszając tematykę zarządzania komunikacją w przedsięwzięciach budowlanych, wskazują, że obejmuje ona procesy wymagane do

zapewnienia terminowości i odpowiedniego poziomu generowania, zbierania, dystrybucji, przechowywania, wyszukiwania i ostatecznie dysponowania informacjami o przedsięwzięciu. Tworzy się skuteczną komunikację między zaangażowanymi stronami w przedsięwzięciu, łącząc różne poziomy wiedzy specjalistycznej oraz różne perspektywy w celu realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Autorzy zwracają uwagę, jak istotne jest zarządzanie komunikacją, a zwłaszcza jej planowanie. Przedstawiają planowanie komunikacji jako proces określenia interesariuszy przedsięwzięcia budowlanego, ich potrzeb informacyjnych i komunikacyjnych, np. kto potrzebuje jakich informacji, kiedy te informacje będą mu potrzebne, przez kogo powinny zostać przekazane. Autorzy twierdzą, że określenie potrzeb informacyjnych i odpowiedniego sposobu zaspokojenia tych potrzeb są ważnymi czynnikami sukcesu przedsięwzięcia. Niewłaściwe planowanie komunikacji doprowadza do problemów, takich jak opóźnienie w dostarczeniu wiadomości, przepływ poufnych informacji do niewłaściwych odbiorców lub brak komunikacji z niektórymi z wymaganych interesariuszy. Autorzy zauważają, że rezultaty procesu planowania komunikacji powinny być regularnie sprawdzane przez cały okres trwania przedsięwzięcia i w razie potrzeby korygowane. Do ustalenia komunikacji w przedsięwzięciu zdaniem autorów istotna jest znajomość schematu organizacyjnego uczestników w przedsięwzięciu budowlanym, harmonogramu robót, zakresu odpowiedzialności uczestników za realizowane zadania, a także potrzeb uczestników przedsięwzięcia w zakresie informacji niezbędnych do realizacji tych zadań.

Według autorów (Taleb, Ismail, Wahab, Rani, Amat 2017) należy określić oczekiwania i sposoby komunikowania się wszystkich uczestników przedsięwzięcia budowlanego, aby zapewnić sukces realizacji. Następnie należy przygotować plan komunikacji, określający najlepsze metody komunikacji, zależne od rodzaju przekazywanych informacji, wykorzystywane na różnych etapach przedsięwzięcia oraz sposób raportowania efektywności przedsięwzięcia. Biorąc pod uwagę dynamiczny charakter przedsięwzięć budowlanych, plan zarządzania komunikacją powinien być dokumentem ewoluującym przez cały okres realizacji przedsięwzięcia i należy go aktualizować, gdy jest to konieczne.

W małym przedsięwzięciu budowlanym komunikacja jest prosta i nie wymaga dużo proaktywnego wysiłku. Jednak komunikacja staje się znacznie bardziej złożona i krytyczna, kiedy przedsięwzięcie staje się większe i coraz więcej osób jest w nie zaangażowanych. Dlatego niezbędne jest posiadanie planu komunikacji

w przedsiębiorstwach budowlanych, który opisuje, jakie informacje i komu należy podać, a jakie uzyskać (Lee, Kim 2018).

Liu (2009) również sugeruje tworzenie planu komunikacji i dystrybucji informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych. Skuteczna komunikacja wymaga informacji przekazywanych na czas między uczestnikami. Jednak działania projektowe i realizacyjne są prowadzone przez różne zespoły. Uczestnicy mogą nie znać dokładnych postępów prac innych osób. Sytuacja ta prowadzi do późnego otrzymywania informacji od innych uczestników. Dodatkowo często przedsięwzięcia budowlane nakładają na siebie fazy projektowania i budowy. Zwiększa to presję na projektantach udostępniania informacji projektowych w odpowiednim momencie w celu prowadzenia realizacji budowy w zaplanowanym czasie (Xie, Thorpe, Baldwin 2000).

Autorzy (Shakeri, Khalilzadeh 2020) także potwierdzają, że jednym z głównych czynników decydujących o sukcesie przedsięwzięć budowlanych jest zarządzanie komunikacją oraz właściwa i terminowa dystrybucja informacji wśród wszystkich wewnętrznych i zewnętrznych interesariuszy tego przedsięwzięcia. Stwierdzono, że strategia świadomej komunikacji pozwala kierownikom projektu lepiej i w sposób bardziej kontrolowany zorganizować przepływ informacji oraz uniknąć kosztów spowodowanych brakiem efektywnej i terminowej komunikacji. Na podstawie wcześniejszych badań opisanych w literaturze i wywiadów z ekspertami oraz kierownikami projektów pracującymi przy megaprojektach, zidentyfikowali i określili sekwencje oraz zależności czynników wpływających na komunikację w przedsiębiorstwach budowlanych. Następnie czynniki te zostały przeanalizowane przy użyciu kombinacji metod: DEMATEL i Interpretacyjnego Modelowania Strukturalnego (ISM). Z przeprowadzonych analiz wynika, że liczba interesariuszy i wielkość organizacji jest najważniejszym czynnikiem wśród tych wpływających na komunikację w przedsiębiorstwie. Podsumowując przeprowadzone badania, autorzy potwierdzili, że najważniejsze jest planowanie komunikacji w przedsiębiorstwie budowlanym, aby skutecznie zarządzać całym przedsięwzięciem.

Djajalaksana, Zekavat i Moon (2017), na podstawie wywiadów z dziesięcioma praktykami zarządzającymi dużymi przedsięwzięciami budownictwa mieszkaniowego, podejmują próbę określenia wymagań dotyczących skutecznego systemu komunikacji na placu budowy. Autorzy przeanalizowali otrzymane wyniki w celu mapowania istniejących rozwiązań do zidentyfikowanych barier komunikacyjnych. Również oni

wskazali potrzebę opracowania systemu sterowania komunikacją pomiędzy specjalistami w branży budowlanej.

Gidado (2000) zauważa, że charakter przepływu informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych różni się ze względu na różnice organizacyjne i struktury umowne. Problemem stojącym przed branżą budowlaną nie jest brak informacji, ale brak znormalizowanych systemów strategii i przepływu informacji pomiędzy licznymi zespołami. Według autora informacje często nie są dostępne dla stron przedsięwzięcia w odpowiedniej formie i we właściwym czasie, co uniemożliwia w sposób efektywny osiągnięcie celów przedsięwzięcia. W swoich badaniach przedstawił on schemat blokowy zarządzania przepływem informacji w przedsięwzięciach realizowanych systemem zaprojektuj i wybuduj. Model jest jednak bardzo ogólnikowy i wskazuje jedynie kierunek rozwoju sterowania przepływem informacji.

Dainty, Moore i Murray (2006) zdefiniowali wyraźną potrzebę stworzenia systemu komunikacji, który łączy formalne i samoorganizujące się struktury komunikacji, aby uczestnicy przedsięwzięcia budowlanego czuli się poinformowani, zmotywowani i zaangażowani, co ostatecznie pozwoli wzmocnić organizację przedsięwzięcia budowlanego.

Kisielnicki (2011) stwierdził, że „komunikacja sieciowa zapewnia najbardziej efektywne ramy zarządzania projektami”. Jego wyniki badań wskazały natomiast dwie kwestie utrudniające skuteczną komunikację i doprowadzające do wyzwań w realizacji przedsięwzięcia. Pierwszym problemem były przeszkody komunikacyjne wywołane czynnikami zewnętrznymi, takie jak: opóźnione dostawy niezbędnych technologii, problemy z finansowaniem, niekompletna dokumentacja, zmiany ram prawnych i regulacyjnych, nieplanowana nieobecność niektórych kluczowych członków zespołu itp. Drugim zagadnieniem były wyzwania komunikacyjne wynikające z czynników wewnętrznych, takie jak: niewystarczająca komunikacja, słabe kanały komunikacji, brak wiedzy i doświadczenia w realizacji przedsięwzięcia, konflikty międzyludzkie w zespole oraz błędy w strategiach zarządzania procesami. Podsumowując, strategie komunikacji sieciowej mogą być bardzo korzystne w ramach realizacji przedsięwzięcia.

Pomimo popularności tematu oraz wskazywania przez wielu autorów potrzeby zarządzania komunikacją w budownictwie powstało niewiele metod wspomagających komunikację (tab. 1). Ze względu na fakt, że jest to trudne zagadnienie, nadal wskazywana jest potrzeba rozwijania tego tematu i stworzenia kompleksowej metody,

która umożliwiłaby w sposób skuteczny zarządzać komunikacją na wszystkich etapach przedsięwzięcia budowlanego.

Tabela 1

Modele wspomagające zarządzanie komunikacją w przedsięwzięciach budowlanych

Tytuł artykułu i autorzy	Charakterystyka modelu i metod jego analizy	Zalety	Wady
<p>Baldwin A.N., Austin S.A., Hassan T.M., Thorpe A. (1998), <i>Planning building design by simulating information, Automation in Construction</i>, 8, 149–163.</p>	<p>Opracowano Model Przepływu Danych (DFM) dla etapu projektowania budynku (zwłaszcza etap koncepcyjny) i stworzono model symulacyjny oraz zintegrowano go z istniejącą Strukturalną Matrycą Projektową (SMP). Jest to dynamiczne narzędzie, które kierownik projektu może wykorzystać do zbadania wpływu zmian projektowych i zmian w wymaganiach informacyjnych w trakcie procesu projektowania.</p>	<p>Nadzorowanie w sposób dynamiczny nowo dostarczanych informacji istotnych dla powstania projektu. Opracowany model symulacyjny przekształca ogólny model przepływu danych ze stanu statycznego do dynamicznego przez przypisanie czasu trwania i zasobów (w tym uczestników projektów) do zadań. Model może symulować przechowywanie informacji, rozwiązując problem komunikacyjny związany z osobami, które zachowują dane projektowe, zamiast udostępniać je zespołowi projektowemu. Wykonano również implementację komputerową modelu.</p>	<p>Przeływ informacji ogranicza się do konkretnych zadań. Użytkownik musi określić wszystkie dane związane z zadaniem i wprowadzić je jako dane wejściowe. W miarę postępu projektu użytkownik musi ręcznie usuwać zbędne zadania i dodawać nowe, zmieniać kolejność między zadaniami oraz ponownie oceniać czas trwania zadań i wymagania dotyczące zasobów. Ważność danych wyjściowych zależy od wiarygodności oszacowania czasu trwania zadania i zapotrzebowania na zasoby. Może to być w niektórych przypadkach problematyczne, zwłaszcza w fazie koncepcyjnej. Ograniczona liczba typów zasobów (np. uczestników) do 11. Ograniczenie modelu do fazy projektowej, przede</p>

			wszystkim fazy koncepcyjnej.
Thomas S.R., Tucker R.L., Kelly W.R. (1999), <i>Compass: An Assessment Tool for Improving Project Team Communications</i> , Project Management Journal, 30(4), 15–24.	Compass to aplikacja komputerowa przeznaczona dla kierowników projektów do oceny komunikacji w zespole podczas fazy projektowania i realizacji budowy. Narzędzie zbiera i analizuje dane ankietowe zebrane od członków zespołu na temat komunikacji, ocenia efektywność komunikacji w zespole i dostarcza wyniki porównawcze z wynikami uzyskanymi w realizowanych wcześniej 72 projektach Amerykańskiego Instytutu Budownictwa.	Automatyczne zbieranie danych ankietowych od uczestników przedsięwzięcia przez cały okres jego trwania umożliwia monitorowanie komunikacji oraz pozwala na weryfikację zmian jej efektywności. Model pozwala na porównanie, jak komunikacja w realizowanym przedsięwzięciu wypada na tle danych historycznych, zebranych z wcześniej realizowanych przedsięwzięć przez Amerykański Instytut Budownictwa.	Ocena komunikacji jest bardzo ogólna i obejmuje tylko sześć kategorii komunikacji: aktualność, kompletność, precyzja, procedury, bariery, zrozumienie. Uzyskane wyniki wskazują tylko, w której kategorii występuje problem, bez wskazania, czego dokładnie dotyczy oraz w jaki sposób należy go rozwiązać. Dane ankietowe zebrane od uczestników są subiektywne. Uczestnicy mogą wskazać przekłamanie odpowiedzi (bardziej pozytywne niż w rzeczywistości) ze względu na fakt, że uzyskane odpowiedzi są analizowane i oceniane przez ich przełożonego.
Oloufa A., Hosni Y., Fayed M., Axelsson P. (2004), <i>Using DSM for modeling information flow in construction design projects</i> , Civil Engineering and	W narzędziu DSMPM zastosowano połączoną macierz DSM (macierz struktury projektu) i metodę CPM (metoda ścieżki krytycznej), koncentrując się na istotnych wymaganiach dotyczących przekazywania informacji w przedsięwzięciu, co pozwala ograniczyć	Model umożliwia badanie rodzaju informacji i ile działań projektowych zależy od tych informacji, co skutkuje ustaleniem priorytetów zadania. Model umożliwia minimalizację „informacji wstecznych” w sieci projektu przez określenie założeń projektowych.	Model przeznaczony jest tylko do fazy projektowej. Model wskazuje harmonogram projektowania, gdzie wiele zadań może się rozpocząć jednocześnie lub w krótkich odstępach czasu. Autorzy nie informują, czy w tej sytuacji zapewniona jest odpowiednia ilość zasobów (projektantów),

<p>Environmental Systems, 21(2), 105–125.</p>	<p>liczbę przeróbek projektu. Narzędzie skierowane jest do wspomaganie sterowania komunikacji na etapie projektowania.</p>	<p>„Informacje wsteczne” rozumiane są jako dane dostępne na późniejszym etapie projektowania, a potrzebne do wykonania wcześniejszej części projektu. Konsekwencją jest mniej przeróbek projektu.</p>	<p>umożliwiająca realizację wszystkich tych zadań jednocześnie. Pojawienie się nowych informacji może całkowicie zmienić harmonogram projektu, co może zdeorganizować pracę zespołu.</p>
<p>Radziszewska-Zielina E., Śladowski G., Kania E., Sroka B., Szewczyk B. (2019), <i>Managing Information Flow in Self-Organising Networks of Construction Participants</i>, Archives of Civil Engineering, 65(2), 133–148.</p>	<p>Opracowana metoda wspomagająca kadrę zarządzającą w sterowaniu przepływem informacji w samoorganizujących się sieciach przedsięwzięć budowlanych została oparta na analizie miar strukturalnych sieci jednomodowych (<i>Social Network Analysis</i>). Zaproponowany model optymalizacyjny został zaimplementowany komputerowo. Do rozwiązywania tego problemu autorzy wykorzystali przybliżony metaheurystyczny algorytm symulowanego wyżarzania (SA).</p>	<p>Analiza strukturalna sieci komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego, bazująca na różnych opracowanych miarach strukturalnych, pozwala na ustalenie pozycji uczestników w kontekście przepływu informacji w samoorganizującej się sieci komunikacji. Pozwala to na wykrycie dysfunkcji uczestników w ramach sieci komunikacji. Zaproponowany model optymalizacyjny i metoda jego analizy określa rodzaj i ilość interwencji w rzeczywistą sieć komunikacji w celu likwidacji dysfunkcji uczestnika i zbędnych kanałów komunikacyjnych.</p>	<p>Model umożliwia tylko analizę sieci komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia, nie uwzględniając istotnych elementów wpływających na komunikację, jak zasoby (wiedza) i harmonogram robót. Model skupia się na samoorganizujących się sieciach komunikacji, pomijając strukturę formalną wynikającą z umowy. Model optymalizacyjny i metoda jego analizy odnosi się do sieci nieważonych, a więc uwzględnia tylko kanały komunikacyjne i ich zwroty pomiędzy uczestnikami sieci, pomijając takie istotne elementy jak częstotliwość i jakość przepływu informacji.</p>

Ze względu na złożony, tymczasowy i dynamiczny charakter przedsięwzięcia budowlanego niemożliwe jest stosowanie modeli opracowanych do wspomagania komunikacji w ramach przedsiębiorstwa. W wielu badaniach wskazywano potrzebę opracowania metody wspomagania zarządzania przedsięwzięciem budowlanym w tym zakresie. Jednak badania, w których podjęto próbę opracowania modelu zarządzania komunikacją, bazują na ogólnych wytycznych i zasadniczo skupiają się tylko na etapie projektowania. Modele te ograniczają się często do etapu planowania komunikacji, np. odnosząc się do danych historycznych zebranych na ograniczonej liczbie przedsięwzięć. Zauważyć należy, że każde przedsięwzięcie budowlane jest unikalne, chociażby ze względu na jego lokalizację, warunki gruntowe czy uczestników biorących udział w tym przedsięwzięciu. Opracowana metoda powinna być uniwersalna, ale jednocześnie powinna umożliwić zastosowanie jej w przypadku konkretnego przedsięwzięcia.

Problemy z komunikacją wzrastają wraz z liczbą uczestników i organizacji, dlatego wyjątkowo istotne jest wspomaganie przedsięwzięcia na etapie realizacji budowy. Brakuje jednak modeli kompleksowo wspomagających planowanie i monitorowanie komunikacji, zwłaszcza w fazie realizacyjnej przedsięwzięcia budowlanego. Opracowane modele skupiają się bowiem na samych uczestnikach i komunikacji pomiędzy nimi (np. wykorzystując metodę analizy sieci społecznych). Należałoby jednak uwzględnić takie aspekty determinujące komunikację w przedsięwzięciu budowlanym jak założenia formalnej komunikacji wynikające z umowy czy realizacja zadań i przekazywanie niezbędnej do realizacji zadań wiedzy. Opracowane dotychczas modele nie wskazują jednoznacznie, w ujęciu ilościowym, wpływu komunikacji na istotne kryteria przedsięwzięcia, np. czas lub koszt. Przedstawione argumenty potwierdzają lukę badawczą w tym zakresie.

2.11. Komputerowe wspomaganie komunikacji

Znaczna część badań dotyczących komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych dotyczy wspomagania komunikacji przy użyciu systemów informatycznych (Wikforss, Löfgren 2007; Melzner, Feine, Hollermann, Rütz, Bargstädt 2015). Skuteczna komunikacja zespołowa w projektowaniu obiektów budowlanych staje się coraz ważniejsza ze względu na rosnącą złożoność techniczną i organizacyjną przedsięwzięć budowlanych. Rozwój i wykorzystanie informatycznych systemów wspierających komunikację są postrzegane jako jeden ze sposobów poprawy efektywności zespołów

projektowych i wykonawczych (Love, Irani, Li, Cheng 2001). Tupamäki (1997) zauważa, że należy zadbać o nowoczesne technologie komunikacyjne w przepływie informacji z i na plac budowy. Den Otter i Emmitt (2007) zwracają uwagę, że komunikacja w zespole projektantów zależy od możliwości komunikacyjnych członków zespołu i zdolności menadżerów do ułatwiania, stymulowania i motywowania członków zespołu. W swoich badaniach skupili się na określeniu skuteczności wykorzystania narzędzi informatycznych do komunikacji w zespołach projektowych i strategii korzystania z określonych narzędzi, jednocześnie porównując bezpośrednie formy komunikacji. Środki komunikacji obejmowały: bezpośrednią komunikację przez formalne spotkania zespołu, dialogi projektowe, sesje dyskusyjne, nieformalne spotkania, telefon, faks, pocztę, pocztę e-mail, sieć komputerową. Zauważyli, że należy w zrównoważony sposób wykorzystywać dostępne środki komunikacji oraz przydatność wysokiej lub niskiej interakcji i informacji zwrotnych w celu stymulowania efektywności procesu projektowania na różnych jego etapach. Czas na projektowanie jest często ograniczony, a członkowie zespołu mogą prowadzić jednocześnie kilka projektów na różnych etapach ich zaawansowania. Ze względu na wykorzystanie różnych narzędzi komunikacji przez zespół komunikacja może stać się nieskuteczna z powodu braku wyraźnych wskazówek ze strony kierownictwa oraz zaangażowania wszystkich członków zespołu. Autorzy (Den Otter, Emmitt 2007) zbadali, że witryna projektu może być źle skonstruowanym pakietem przechowywania informacji, a proces jej aktualizacji może spowolnić proces projektowania i negatywnie wpłynąć na jego efektywność, czego powodem są źle zarejestrowane zmiany, nadmiarowość informacji itp. Ponadto może to zwiększyć liczbę błędów projektowych, a w konsekwencji wartość kosztów projektu. Zespoły projektowe wykorzystujące systemy informatyczne bez komunikacji bezpośredniej (twarzą w twarz) w regularnych odstępach czasu mogą w pewnym stopniu doprowadzić do nieporozumienia. Aasrum, Lædre, Svalestuen, Lohne i Plaum (2016) przeprowadzili badania w norweskim i niemieckim przemyśle budowlanym na temat wpływu komunikacji między zespołami projektantów i wykonawców budowlanych na pomyślną realizację przedsięwzięć budowlanych. Wskazali, że istnieje tendencja do niedoceniań korelacji między komunikacją a efektywnością w większości przedsięwzięć budowlanych. Uwzględniając różne czynniki, wpływające na komunikację, przyczyny komunikacji, sieci komunikacyjne, kanały komunikacji i przyszłe potrzeby w sposób porównawczy, skupili się na zwiększeniu wiedzy i zrozumieniu komunikacji na etapie projektowania i budowy. Autorzy dokonali przeglądu literatury oraz przeprowadzili

wywiady wśród branżystów. Zasugerowali, że istnieje potrzeba poprawy komunikacji zarówno w Norwegii, jak i w Niemczech. Dodatkowo skupili się na narzędziach technologii informacyjno-komunikacyjnych. Opisano kilka wyzwań związanych z korzystaniem z poczty elektronicznej, ponieważ spełnia ona ważną rolę podczas udostępniania informacji o przedsięwzięciu. Badani respondenci zauważyli, że często występuje zbyt wielu odbiorców, co powoduje przeciążenia informacyjne. Ze względu na ilość informacji, które mają zostać przekazane, e-maile są długie, a ilość złożonych informacji staje się niezrozumiała. Zauważono również, że powinny zostać ustalone ramy komunikacji, a uczestnicy powinni przekazać właściwe informacje właściwym członkom zespołu we właściwym czasie. Autorzy zauważają, że narzędzia informacyjno-komunikacyjne w budownictwie w ostatnich latach szeroko ewoluowały, zapewniając wszystkim członkom zespołu natychmiastowy dostęp do informacji o projekcie, co przyspiesza przepływ informacji. Badani respondenci sugerowali jednak, że korzystanie z tych narzędzi może być kłopotliwe, a także zmniejszać ogólne zrozumienie przedsięwzięcia. Przykładowo, gdy wszyscy uczestnicy mają dostęp do wszystkich informacji w dowolnym momencie, trudno jest kontrolować, kto i jakie informacje otrzymuje. Może to również spowodować, że uczestnicy stworzą własny „obraz” przedsięwzięcia, co może różnić się od ogólnych celów przedsięwzięcia. Autorzy na przykładzie Norwegii i Niemczech przeanalizowali również struktury organizacyjne w przedsięwzięciach budowlanych, sprawdzając ich wpływ na skuteczność porozumiewania się. W Norwegii stosuje się sieciową strukturę organizacyjną. Zalety tego podejścia zdaniem autorów obejmują otwartą i skuteczniejszą komunikację, szybkie podejmowanie decyzji i współpracę. Niemieckie podejście to hierarchia organizacyjna. Badanie wykazało, że takie podejście prowadzi do wyraźniejszych linii i łańcuchów sprawozdawczych niż w przypadku struktury sieciowej, które dodatkowo zapewniają wyraźny podział ról. Istnieją jednak wady stosowania stosunkowo sztywnych struktur hierarchicznych, takie jak mniej efektywne podejmowanie decyzji i wolniejszy przepływ informacji, które powstają w wyniku zwiększonej biurokracji. Organizacje hierarchiczne znacznie wolniej reagują na nowe możliwości, co utrudnia przepływ informacji w szybko zmieniającym się środowisku przedsięwzięcia budowlanego. Według autorów przyszłe kierunki badań nad zarządzaniem w budownictwie powinny zostać poświęcone opracowaniu strategii znalezienia właściwej równowagi hierarchicznej i sieciowej struktury organizacyjnej, zastosowaniu formalnej i samoorganizującej się komunikacji oraz wykorzystaniu technologii do optymalnego przepływu informacji.

Alsafouri i Ayer (2018) wskazują na intensywny rozwój badań dotyczących stosowania w budownictwie takich technologii informacyjnych jak: identyfikacja radiowa (*Radio Frequency Identification – RFID*), laserowe skanowanie 3D (*Laser Scanning – 3D*), rozszerzona rzeczywistość (*Augmented Reality – AR*) i komputery mobilne. Z badań autorów wynika jednak, że nadal zastosowanie takiego oprogramowania w praktyce jest na niskim poziomie. Spośród zbadanych przez autorów technologii informacyjno-komunikacyjnych najczęściej stosowane są komputery mobilne i skanowanie laserowe 3D. Problemy związane ze stosowaniem technologii ICT pojawiają się między innymi ze względu na format przekazywanych plików, jak również koszt samego oprogramowania, co przekłada się na niską dostępność w przedsięwzięciu budowlanym. Należy jednak rozwijać w miarę możliwości stosowanie systemów komputerowych ze względu na ich pozytywny wpływ na realizację przedsięwzięcia.

Autorzy (Harstad, Lædre, Svalestuen, Skhmot 2015) zauważają, że skutecznym sposobem zarządzania informacjami na budowach przez personel budowlany jest pozyskiwanie informacji w miejscu, w którym się znajdują, i w czasie, kiedy ich potrzebują. Jest to trudne do osiągnięcia, ponieważ zarządzanie informacjami zwykle obejmuje dokumenty w formie papierowej. Jednak szybki rozwój mobilnych technologii informacyjno-komunikacyjnych stwarza nowe możliwości przenoszenia i dostępu do informacji na placach budowy. Zbadano wpływ tabletów na komunikację w przedsięwzięciach budowlanych, a wyniki pokazały, że tablety mogą wzbogacić komunikację między praktykami zajmującymi się projektowaniem i budową, a także pomóc ograniczyć marnotrawstwo, takie jak niepotrzebny transport i przeróbki spowodowane błędami wynikającymi ze starych, błędnych i nieistotnych rysunków w projekcie. Jednak wprowadzenie tabletów wiąże się również z początkowymi kosztami szkolenia i sprzętu oraz w dużym stopniu uzależnione jest od dostępności Internetu.

Możliwość zastosowania technologii rozszerzonej rzeczywistości (AR) do komunikacji w przemyśle budowlanym została już zbadana (Harikrishnan, Abdallah, Ayer, El Asmar, Tang 2021). Rozszerzona rzeczywistość (AR) to technologia, która pozwala użytkownikom zobaczyć rzeczywisty świat z wirtualnymi obiektami na niego nałożonymi. Najnowsze rozwiązania AR pozwalają użytkownikom na wirtualne komentowanie sytuacji na obiektach fizycznych w czasie rzeczywistym ze zdalnie połączonymi współpracownikami. Ta funkcjonalność może odpowiadać na krótkoterminowe potrzeby komunikacyjne, zapewniając kontekstowo odpowiedni dialog między personelem na budowie i w biurze w celu wspierania efektywności spotkań

między jednostkami w środowiskach zdalnych. Takie wykorzystanie AR może pomóc w podejmowaniu decyzji w zmieniającym się środowisku budowlanym. Jednakże jest prawdopodobne, iż takie wykorzystanie tej technologii nie będzie w stanie zastąpić wszystkich rodzajów komunikacji związanej z budową. Zwrócono uwagę, że możliwość podjęcia decyzji o rozwiązaniu danego problemu za pomocą AR w porównaniu z wizytą na miejscu zależy od złożoności i znaczenia problemu na budowie. Chociaż naukowcy zgadzają się, że AR może wspierać komunikację, zdecydowana większość opublikowanych prac donosi jedynie o wykorzystaniu AR w kontrolowanym środowisku, a większość przypadków nie została wdrożona w rzeczywistości.

W badaniach (Harikrishnan, Abdallah, Ayer, El Asmar, Tang 2021) przeprowadzone zostały wywiady z praktykami na temat zastosowania rozszerzonej rzeczywistości do komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym. Jak w przypadku każdej nowej technologii wskazano zalety i wady zastosowania jej w budownictwie. Zaletą może być przede wszystkim wykorzystanie AR do większego zaangażowania projektantów w działania na budowie, jak również potencjalna oszczędność czasu potrzebnego zespołowi projektowemu na podróż na plac budowy. Wskazano, że ta technologia ma również potencjał do działania jako narzędzie do szkolenia mniej doświadczonych pracowników na budowie pod okiem doświadczonego personelu, który może znajdować się w biurze lub innej lokalizacji. Wady dotyczyły przede wszystkim obaw związanych z warunkami na budowie, takimi jak słabe oświetlenie lub brak łączności z Internetem. Ten ostatni warunek może być wyjątkowo trudny na obszarach wiejskich, gdzie łączność jest nieprzewidywalna. Kolejnym ze wskazanych przez praktyków elementem był koszt związany z zakupem sprzętu i oprogramowania wymaganego do zastosowania omawianej technologii. Autorzy stwierdzili na podstawie przeprowadzonych badań, że obecnie AR jest nowym zestawem narzędzi komunikacyjnych w przedsięwzięciach budowlanych, który może służyć jako dodatkowe narzędzie wspomagające tradycyjną rozmowę telefoniczną i bezpośrednią komunikację na miejscu.

Bogusz, Połoński i Pruszyński (2018) wskazują, że proces inwestycyjny można wspierać, zarządzając przepływem informacji i dokumentów z wykorzystaniem istniejących systemów informatycznych. Autorzy uważają, że do zarządzania informacjami osobistymi, takimi jak notatki, zadania, kontakty, terminy, pomocne są programy typu Personal Information Manager (PIM). Są to programy wspierające prace użytkowników na pojedynczych stacjach roboczych, bez wymiany zgromadzonych informacji pomiędzy innymi użytkownikami (np. MS Outlook). Kiedy istnieje potrzeba

uzyskania większej kontroli nad procesem komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego lub należy usprawnić wewnętrzną organizację przedsiębiorstwa w procesach kontaktu z klientem, wymiana dokumentów i informacji pomiędzy poszczególnymi uczestnikami procesu inwestycyjnego nabiera wyjątkowego znaczenia. Wskazaniem oprogramowaniem wykorzystywanym do wymiany informacji są systemy klasy EDI (*Electronic Data Interchange* – elektroniczna wymiana informacji), gdzie poszczególne elementy tego systemu wspierane są pracą serwerów i wszystkie dokumenty przekazywane są w formie elektronicznej. W transakcjach EDI informacje są przenoszone bezpośrednio z aplikacji komputerowej jednej organizacji do aplikacji komputerowej innej. Wykorzystując takie systemy, można uniknąć wielu błędów, całkowicie eliminując przekazanie dokumentów w formie papierowej.

Kolejną grupą narzędzi, ułatwiających komunikację i zarządzanie dokumentami i wskazywaną przez autorów (Bogusz, Połoński, Pruszyński 2018), są specjalne pakiety oprogramowania, będące zestawem kilku aplikacji wspierających i ułatwiających komunikację i zarządzanie dokumentami oraz plikami, nazywane Groupware. Zawierają one zazwyczaj: pocztę elektroniczną, pocztę głosową, terminarz, bazę kontaktową, narzędzia do współużytkowania i udostępniania plików, wyszukiwarkę, przeglądarkę z możliwością zgłaszania problemów i wspólnej dyskusji nad bieżącymi projektami. Jednakże zakup takich systemów to duży wydatek, dlatego mniejsze przedsiębiorstwa nie mogą pozwolić sobie na takie rozwiązanie. Alternatywą stają się darmowe oprogramowania o przybliżonej funkcjonalności.

Przydatne jest również oprogramowanie typu OLAP (*OnLine Analytical Processing*), np. MS Project Server, wspierające podejmowanie decyzji i pozwalające użytkownikowi analizować bieżący postęp prac w projekcie oraz informacje o wykorzystaniu zasobów, zgromadzonych rezerwach materiałowych, zaplanowanych dostawach czy przepływie gotówki (Bogusz, Połoński, Pruszyński 2018).

Autorzy ci twierdzą jednak, że praktyka wykazała, iż dotychczas wykorzystywane oprogramowanie jest niewystarczające do zarządzania złożonymi i zaawansowanymi przedsięwzięciami w specjalistycznych dziedzinach takich jak budownictwo. Wskazane jest zatem, aby rozwijać oprogramowania wspomagające przepływ informacji, skierowane do osób zarządzających w branży budowlanej.

Szeroko badanym zagadnieniem w literaturze jest zastosowanie w budownictwie technologii BIM. Rozumieć i definiować BIM można na trzy sposoby (Piwkowski, Styliński 2020):

- BIM – *Building Information Model* (BIM jako „produkt”), czyli cyfrowy model obiektu budowlanego, zawierający różne informacje potrzebne na etapie projektowania, realizacji oraz eksploatacji obiektu budowlanego, będący cyfrową prezentacją fizycznych i funkcjonalnych cech obiektu;
- BIM – *Building Information Modeling* (BIM jako „proces”), czyli tworzenie, edytowanie i wykorzystywanie informacji o obiekcie budowlanym podczas projektowania, budowy i eksploatacji, czyli w pełnym cyklu życia obiektu, z wykorzystaniem cyfrowego zasobu informacji powiązanych z geometrycznym modelem 3D, jak również metodyki realizacji inwestycji budowlanej opartej na modelu cyfrowym;
- BIM – *Building Information Management* (jako „data definition”), czyli zarządzanie procesem inwestycyjnym przez wykorzystanie parametrów cyfrowego modelu obiektu budowlanego w celu uzyskiwania i wymiany informacji o składnikach aktywów. BIM umożliwia zarządzanie obiektem od momentu określenia wymagań wobec obiektu, koncepcji, przygotowania dokumentacji technicznej i budowy aż do codziennej eksploatacji i zakończenia jego użytkowania.

Technologia BIM rozwija się prężnie i jest tematyką wielu badań (Ahankoob, Manley, Abbasnejad 2019). Wspiera wiele elementów przedsięwzięcia budowlanego, w tym również komunikację (Svalestuen, Knotten, Lædre, Drevland, Lohne 2017). Należy jednak zwrócić uwagę na obecną sytuację BIM w Polsce.

Znajomość technologii BIM w Polsce jest nadal na niskim poziomie. Przedstawione w raporcie firmy Autodesk (2019) wyniki badań przeprowadzonych w 2015 roku pokazują, że świadomość BIM deklaruje niespełna połowa badanych. Odsetek ten jest istotnie niższy wśród respondentów z najdłuższym stażem zawodowym. Istotne statystycznie różnice w świadomości BIM w zależności od wielkości przedsiębiorstwa pozwalają twierdzić, że BIM jest bardziej rozpowszechniony w większych biurach i przedsiębiorstwach. Jednak nawet w małych przedsiębiorstwach ponad 40% badanych zadeklarowało, że zetknęli się z BIM. Łącznie 25,4% specjalistów z branży architektoniczno-budowlanej kiedykolwiek było zaangażowanych w przygotowanie projektów z wykorzystaniem modelowania informacji o budynku BIM. Istotnie częściej BIM wykorzystują przedsiębiorstwa większe, zatrudniające co najmniej dziesięciu pracowników (42,7%). Respondenci oceniają, że świadomość BIM jest wyższa wśród architektów, projektantów konstrukcji i instalacji, niższa zaś jeżeli mówimy o wykonawcach, inwestorach czy też właścicielach budynków.

Polska stara się o rozwój świadomości technologii BIM. Przygotowany został przez PZPB i PZITB dokument BIM Standard PL – Projekt zasad przygotowania i realizacji inwestycji kubaturowych w Polsce zgodny z normą PN-ENISO19650 i krajowym prawem budowlanym (Piwkowski, Styliński 2020), który mógłby pomóc usankcjonować prawnie oraz wspomagać zastosowanie technologii BIM.

Obecnie jednak standardy dokumentacji projektowej, które obowiązują w Polsce, to:

- Dz.U. 2021, poz. 2454 – Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii z dnia 20 grudnia 2021 r. w sprawie szczegółowego zakresu i formy dokumentacji projektowej, specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych oraz programu funkcjonalno-użytkowego,
- PN-B-01025:2004 – Oznaczenia graficzne na rysunkach architektoniczno-budowlanych,
- PN-B-01027:2002 – Oznaczenia graficzne stosowane w projekcie zagospodarowania działki lub terenu.

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 kwietnia 2012 r. (Dz.U. 2012, poz. 526) w sprawie Krajowych Ram Interoperacyjności, minimalnych wymagań dla rejestrów publicznych i wymiany informacji w postaci elektronicznej oraz minimalnych wymagań dla systemów teleinformatycznych w załącznikach 2 i 3 wskazuje obowiązujące formaty danych do wymiany zasobów informacyjnych, formaty do struktury i wizualizacji dokumentu elektronicznego oraz formaty danych obsługiwanych przez podmiot realizujący zadanie publiczne w trybie odczytu. Rozporządzenie nie przewiduje stosowania formatów: *.dwfx, *.rvt, *.nwd, *.nwc, *.nwf oraz formatu *.ifc, które są niezbędne do funkcjonowania technologii BIM. Brak jest interoperacyjności, czyli współdziałania, ujednolicenia, wymienności i zgodności. Nieuregulowana pozostaje również sprawa praw autorskich dotycząca stosowania technologii BIM, a zwłaszcza przeniesienie praw autorskich projektantów na zamawiającego, brak odniesienia praw autorskich do odpowiedzialności i nadzoru autorskiego, a także kwestia dodatkowego wynagrodzenia z tytułu przeniesienia praw.

Potwierdza to, że w Polsce brak jest regulacji prawnych dotyczących zastosowania dokumentacji w standardach BIM.

Technologia BIM cechuje się wieloma grupami zalet, w tym także w zakresie wspomaganie komunikacji, a zwłaszcza (Miettinen, Paavola 2014; Boldkowski 2015;

Żabicki 2016; Nalepka, Rawska-Skotniczny 2016; Walczak, Szymczak-Graczyk, Walczak 2017; Kuchta, Tylek, Rawska-Skotniczny 2017; Nalepka, Mrozek 2017):

- poprawia współpracę pomiędzy uczestnikami procesu budowlanego – inwestorami, projektantami, kierownikiem budowy i inspektorami nadzoru – przez stworzenie trójwymiarowego, wielopłaszczyznowego i wielobranżowego modelu, dostępnego na każdym etapie powstawania obiektu;
- wizualizacja inwestycji z wykorzystaniem modelu 3D pozwala na poszerzenie wyobrażenia o końcowym obrazie inwestycji, daje możliwość zobaczenia spodziewanego efektu końcowego oraz pozwala uniknąć wielu błędów oraz nieporozumień w fazie koncepcji;
- wgląd w model obiektu pozwala Inwestorom i Użytkownikom na spersonalizowanie podejścia do rozplanowania wnętrza;
- automatyzacja tworzenia dokumentacji daje skrócenie czasu pracy związanej z wprowadzeniem zmian w projekcie i możliwość eliminacji błędów już na etapie dokumentacji;
- technologia BIM może zostać wykorzystana po zakończeniu realizacji przedsięwzięcia budowlanego do zarządzania obiektem, planowania kolejnych inwestycji, realizacji remontów, modernizacji, konserwacji czy rozbiórki;
- zmagazynowane informacje o obiekcie mogą mieć wpływ na efektywność przeprowadzenia rozbiórek oraz odzysku powstałych odpadów;
- możliwość oszacowania zagrożeń BHP – przygotowanie procedur zabezpieczających, minimalizujących lub nawet eliminujących zagrożenia podczas wykonawstwa;
- technologia BIM ułatwia również analizę różnych wariantów realizacji.

Nie można jednocześnie pominąć istotnych wad technologii BIM (Jeong, Eastman, Sacks, Kaner 2009; Tomana 2015; Ustinovicius, Wierzowiecki, Puzinas 2016; Nalepka, Mrozek 2017) takich jak:

- wymiana informacji z użyciem różnych programów pochodzących od różnych producentów stwarza problem kompatybilności plików roboczych oraz częściową utratę danych;
- poznanie technik efektywnego wykorzystania oprogramowania BIM jest procesem pracochłonnym, wymaga dostosowania umiejętności użytkownika, poznania narzędzi i zmiany przyzwyczajeń – wydłużenie pracy;

- implementacja BIM w użytkowaniu wymaga stosowania nowoczesnego sprzętu, o dużej mocy obliczeniowej, którego zakup stanowi wysokie koszty;
- problem przy realizacji inwestycji, której elementy składowe odbiegają od standardowych – ograniczenie programu;
- trudna do wykonania koordynacja projektów branżowych z powodu małych możliwości wykonania rysunków warsztatowych;
- analiza zagrożeń i konfliktów wykrywanych przez narzędzia BIM jest daleka od rzeczywistych zagrożeń pojawiających się na budowie;
- wysokie koszty niezbędnych szkoleń;
- wysokie koszty licencji oprogramowania, które pozwala na wykorzystanie narzędzi BIM, a ponadto producenci oprogramowania coraz częściej porzucają możliwość zakupu licencji wieczystej z odpowiednią liczbą aktualizacji na rzecz wynajmu programów na określony czas;
- konieczność ciągłego aktualizowania oprogramowania i to na wszystkich urządzeniach, w przeciwnym razie możliwa jest utrata danych lub brak możliwości otwarcia/zapisu ze starszą wersją oprogramowania.

Technologia BIM jest bardzo przydatna i znacząco wspomaga proces budowlany. Posiada wiele zalet, ale również nie ustrzeża się wad. Nie rozwiązuje jednak wszystkich problemów w sektorze budowlanym. Wspomaga proces komunikacji, ale nie eliminuje wszystkich problemów z nim związanych, a zwłaszcza nadmiaru informacji oraz wspomaganie zarządzania tą komunikacją. Nie wyczerpuje ona w pełni tematyki badań w zakresie wspomaganie zarządzania komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych.

Cyfryzacja budownictwa jest jednym z głównych kierunków rozwoju branży. Dostępność szeroko pojętej technologii wspomagającej procesy budowlane stanowi przyszłość branży i ułatwi w znacznym stopniu komunikację pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych. Niezbędne jest wspomaganie zarządzających przedsięwzięciem budowlanym w efektywnym planowaniu i monitorowaniu komunikacji przez system informatyczny, którego brakuje na rynku.

2.12. Podsumowanie przeglądu literatury

Podsumowując analizę kierunków badań przedstawioną w literaturze przedmiotu, uzasadnienie podjęcia tematu rozprawy jest następujące:

- komunikacja jest elementem, który wpływa na wszystkie aspekty przedsięwzięcia budowlanego, zwłaszcza czas, koszt i jakość realizacji, ale również bezpieczeństwo i higienę pracy, partnerstwo czy logistykę;
- zdecydowana większość opracowanych w literaturze badań dotyczących oceny wpływu komunikacji na przedsięwzięcie budowlane ma charakter jakościowy (np. powołując się na wcześniejsze badania lub opinie ekspertów), brakuje natomiast podejść ilościowych, które są bardziej problematyczne i skomplikowane;
- znaczna część autorów wskazuje potrzebę zarządzania komunikacją w przedsięwzięciu budowlanym;
- liczne badania podkreślają, że komunikacja formalna oraz samoorganizująca powinny się dopełniać oraz dostosowywać do fazy realizowanego przedsięwzięcia, należy zatem uwzględnić oba rodzaje komunikacji podczas zarządzania nią w przedsięwzięciu budowlanym;
- wielu autorów wskazuje, że ze względu na złożony, tymczasowy i dynamiczny charakter przedsięwzięć budowlanych nie ma możliwości zastosowania metod do zarządzania przepływem informacji, które sprawdziły się w innych gałęziach gospodarki;
- pomimo prężnego rozwoju cyfryzacji w branży budowlanej brakuje metod, które w sposób efektywny wspomogłyby planowanie i monitorowanie komunikacji, zwłaszcza na etapie realizacji przedsięwzięcia.

3. Badania własne dotyczące komunikacji w polskich przedsiębiorstwach budowlanych

3.1. Badania ankietowe na temat istoty komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych

3.1.1. Opis badań

Badania ankietowe to metoda badawcza pozwalająca między innymi (na etapie badań wstępnych) na zebranie przydatnych informacji umożliwiających potwierdzenie potrzeby szerszych badań naukowych w danym temacie (Sobotka, Radziszewska-Zielina, Plebankiewicz, Zima, Kowalik 2014). Metoda ankiety jest również uzupełnieniem dotychczasowych badań (wtórnych) na temat analizowanego problemu. Wykorzystana metoda była stosowana w przypadku wielu problemów badawczych związanych z komunikacją w budownictwie (Xie, Thorpe, Baldwin 2000; Hoezen, Reymen, Dewulf 2006; Laufer, Shapira, Telem 2008; Chen, Kamara 2008; Zulch 2016; Knotten, Lædre, Hansen 2017).

Na potrzeby niniejszej pracy doktorskiej przygotowany został kwestionariusz ankietowy (załącznik II), który był skierowany do grupy celowej, składającej się z praktykujących uczestników przedsięwzięć budowlanych. Ankieta zawierała część informacyjną, która wyjaśnia respondentom cel badania, instrukcję, w jaki sposób odpowiadać na każde pytanie, oraz informację, że jest to badanie anonimowe. W drugiej części zawarto tak zwane pytania metryczkowe oraz merytoryczne dotyczące tematu badań. Pytania metryczkowe koncentrowały się na określeniu pozycji respondenta w miejscu pracy, długość okresu zatrudnienia w sektorze budowlanym, wielkości przedsięwzięć budowlanych pod względem wartości realizacji, w których uczestniczył respondent, oraz przykłady konkretnych realizacji lub rodzajów realizowanych robót. Pytania te miały na celu określenie doświadczenia i specjalizacji ekspertów w sektorze budowlanym i ocenę ich różnorodności. Pozwoliły one również na uzyskanie informacji o danym obszarze badawczym, korzystając z doświadczeń z realizacji dużych przedsięwzięć budowlanych czy grupując rozkład odpowiedzi w zależności od długości okresu zatrudnienia eksperta w sektorze budowlanym.

Główna sekcja zawierała 12 pytań. Były to zarówno pytania zamknięte, jak i otwarte, które wymagały odpowiedzi w sposób bardziej opisowy. W ramach badania poruszono pięć obszarów badawczych dotyczących komunikacji w budownictwie.

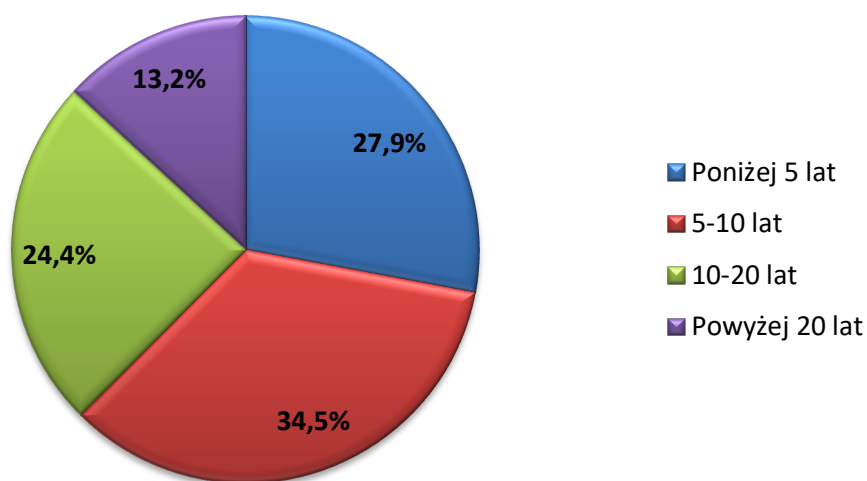
Pytania zostały przygotowane tak, aby umożliwić uzyskanie jak największej ilości informacji w danym zakresie. W pierwszej kolejności poproszono respondentów o napisanie opinii na temat ogólnej wiedzy dotyczącej komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Następnie, w ramach pytań z zakresu badań dotyczących opinii na temat problemów w realizacji przedsięwzięcia budowlanego w związku z brakiem efektywnej komunikacji, przygotowano trzy pytania, które pomogły w ustaleniu, czy istnieje związek między komunikacją a pojawiającymi się problemami. Trzeci zestaw pytań dotyczył opinii na temat wpływu komunikacji na pomyślne przeprowadzenie budowy, przy czym respondenci zostali poproszeni o odpowiedź, czy istnieje związek pomiędzy sukcesem przedsięwzięcia budowlanego a komunikacją oraz o uporządkowanie sekwencji czynników sukcesu w zależności od tego, jak istotny wpływ miały one na ostateczny wynik przedsięwzięcia. W kolejnym zestawie pytań respondenci zostali poproszeni o udzielenie odpowiedzi na pytania o koszty komunikacji. Ostatnia sekcja dotyczyła gromadzenia informacji na temat wspierania zarządzania komunikacją w przedsięwzięciach budowlanych. Respondentów zapytano również, przez zamknięte pytania wymagające wyjaśnienia, jak zarządzano ich projektami w kontekście przepływu informacji oraz czy były one zarządzane cyfrowo przy użyciu dedykowanego oprogramowania. Zebrano też informacje o potrzebie opracowania narzędzia (oprogramowania komputerowego), które wspierałoby zarządzającego przedsięwzięciem budowlanym w efektywnym planowaniu i monitorowaniu komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia.

Badanie zostało przeprowadzone w okresie od listopada 2019 do czerwca 2020 roku w formie ankiety bezpośredniej i internetowej. Bezpośredni kontakt z częścią respondentów na placach budowy umożliwia rozszerzenie badania ankietowego o wywiady swobodne i obserwacje wykonywanej pracy. Kwestionariusz ankiety w formie elektronicznej został umieszczony w zamkniętej grupie internetowej, której członkami byli praktycy z zakresu sektora budowlanego. Dodatkowo część kwestionariuszy zostało przesłanych pocztą elektroniczną do zweryfikowanych respondentów, którzy zostali zidentyfikowani przez poprzednich uczestników (metoda kuli śnieżnej). Otrzymane dane zostały zebrane przy użyciu arkusza ankiety Google i zostały poddane analizie statystycznej. Łącznie zebrano 365 prawidłowo wypełnionych kwestionariuszy. Zgodność opinii respondentów została zweryfikowana przy użyciu współczynnika zgodności Kendalla (Cabała 2010).

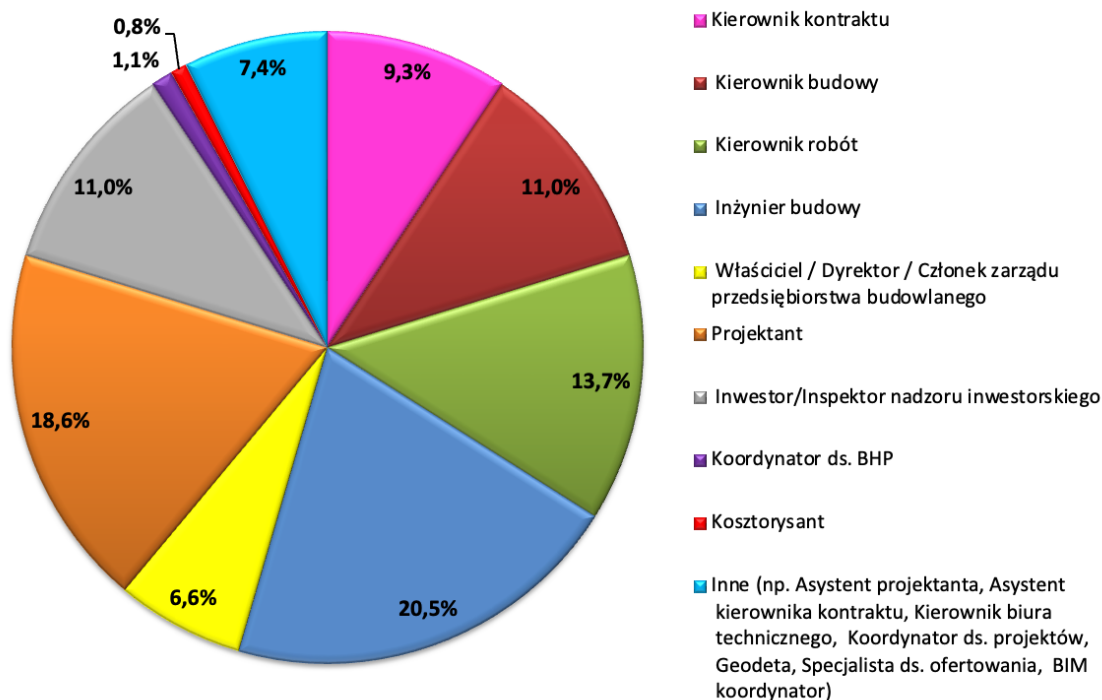
3.1.2. Wyniki badań

3.1.2.1. Charakterystyka respondentów

Badanie zostało przeprowadzone na próbie celowej – skierowane do inżynierów, którzy pracują w sektorze budowlanym. Uczestnikami były osoby zaangażowane w każdy etap przedsięwzięcia budowlanego z wieloletnim doświadczeniem w budownictwie (rys. 9), między innymi: kierownicy kontraktów, kierownicy i inżynierowie budowy, kierownicy robót, właściciele przedsiębiorstw budowlanych, projektanci, inspektorzy nadzoru inwestorskiego, kosztorysanci, koordynatorzy BHP, koordynatorzy ds. modelowania informacji o budynku (BIM) (rys. 10).

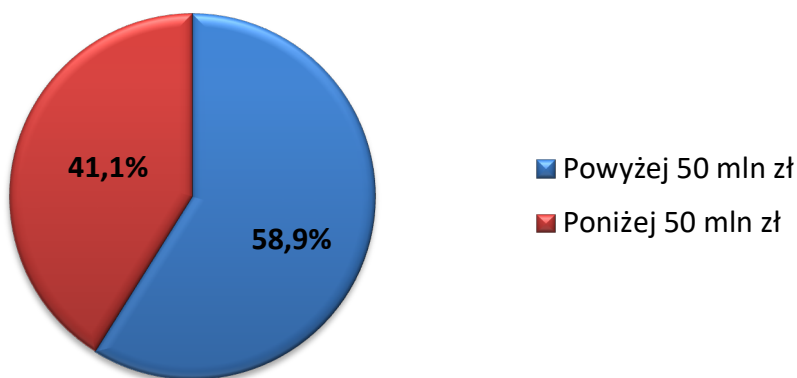


Rys. 9. Doświadczenie zawodowe w sektorze budowlanym. Opracowanie własne



Rys. 10. Procentowy udział respondentów w próbie wg funkcji, jaką pełnili w sektorze budowlanym. Opracowanie własne

Respondenci zostali poproszeni o informację, czy brali udział w realizacji przedsięwzięć budowlanych powyżej 50 milionów złotych (rys. 11). Większa część ankietowanych (58,9%) realizowała takie przedsięwzięcia.



Rys. 11. Realizacja przedsięwzięć budowlanych wg kryterium wartości powyżej 50 milionów złotych. Opracowanie własne

We wskazanych przez respondentów przykładowych realizacjach budów, w których brali udział, znajdują się największe inwestycje w Polsce na przestrzeni

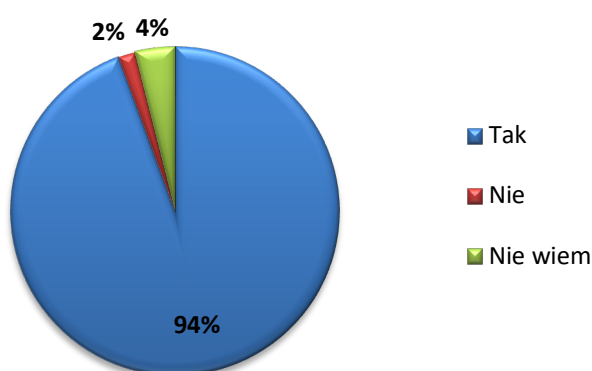
ostatnich lat, np. Varso Tower, Stadion Narodowy w Warszawie, Kompleks Unity Center (Szkieletor) w Krakowie, Terminal Pasażerski Lotniska im. Lecha Wałęsy w Gdańsku, Autostrada A1, Elektrociepłownia w Jaworznie i Elektrownia w Opolu, Kompleks Złota 44 w Warszawie, Kompleks Sky Tower we Wrocławiu, kompleks budynków biurowych High Five w Krakowie, Dworzec Łódź Fabryczna. Pod względem rodzaju inwestycji ankietowani realizowali różne rodzaje przedsięwzięć budowlanych: największe wieloobektowe osiedla mieszkaniowe w Polsce, biurowce, inwestycje kolejowe, drogowe i mostowe, hale produkcyjne, hale sportowe, stadiony, lotniska, obiekty przemysłowe, centra logistyczne, galerie handlowe, hotele, obiekty hydrotechniczne, budynki użyteczności publicznej, obiekty oświaty, domy jednorodzinne. Grupa ankietowanych realizowała również inwestycje zagraniczne, np. w Anglii, Niemczech czy Słowacji. Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe aspekty oraz liczebność grupy ankietowanych, uzyskane wyniki uważa się za godne uwagi.

3.1.2.2. Ogólne informacje o komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych

Komunikacja pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego jest bardzo istotna, co potwierdziło 99,2% ankietowanych praktyków. Ekspertsi wskazali na wiele cech, które uzasadniały znaczenie komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych, co zostało omówione poniżej. Większość ekspertów skupiła się na związku między efektywną komunikacją a pozytywnym wpływem na czas realizacji przedsięwzięcia, efektywność kosztową oraz jakość wykonania (rys. 12), a także wpływie braku lub niewystarczającej ilości komunikacji na wystąpienie wad, błędów i nieścisłości, a co za tym idzie opóźnień i dodatkowych kosztów. Respondenci zwrócili uwagę na fakt znacznej liczby uczestników biorących udział w procesie budowlanym oraz dążenia wszystkich stron do realizacji wspólnego celu, wskazując jako podstawową i niezbędną do tego sprawną komunikację. Teoretycznie, każdy z nich ma ten sam cel, ale różnią się priorytetami, stylem pracy i doświadczeniem. Komunikacja jest niezbędna w przedsięwzięciu, aby sformułować najlepsze rozwiązania i efektywnie wykorzystać zasoby ludzkie (np. wiedzę i kreatywność uczestników), jak również materiałowe i sprzętowe. Komunikacja umożliwia koordynację zadań, dzięki którym poszczególni wykonawcy mają jasno określony kierunek działania. Respondenci twierdzili również, że realizacja każdego przedsięwzięcia budowlanego jest oparta na wiedzy, która jest zbiorem informacji dostarczonych we właściwy sposób do właściwych osób i we właściwym czasie,

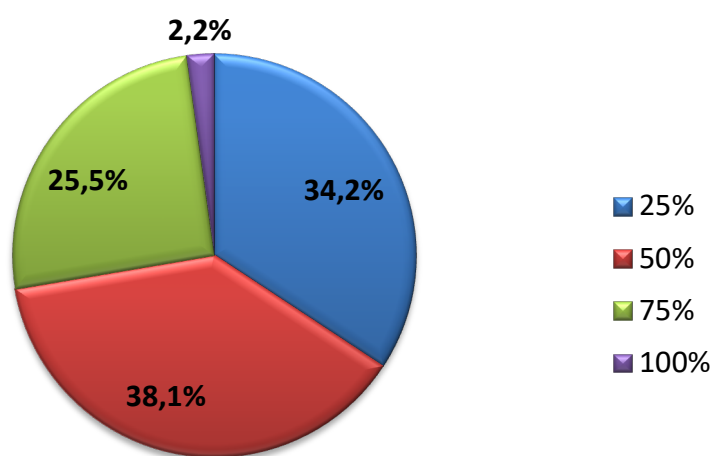
ponieważ żaden uczestnik nie posiada całkowitej wiedzy o przedsięwzięciu. Tak więc brak wymaganej wiedzy generuje niepotrzebne/nieprzewidziane problemy i koszty. Im bardziej złożone przedsięwzięcie, tym istotniejsze jest odpowiednie zarządzanie informacją na budowie. Respondenci wskazywali, że nie da się przed rozpoczęciem realizacji budowy przewidzieć wszystkich problemów, należy zatem monitorować je przez całe przedsięwzięcie, a co za tym idzie monitorować komunikację, która umożliwia rozwiązanie tych problemów.

Respondenci wskazują na potrzebę uzgodnienia rozwiązań projektowych i technologicznych oraz zsynchronizowania realizowanych zadań. Szybka praca wymaga koordynacji pomiędzy wieloma nakładającymi się na siebie branżami. Brak przepływu informacji zmniejsza tempo i zwiększa ryzyko błędów budżetowych oraz innych błędów, wprowadzając chaos. Natomiast skuteczna komunikacja pozwala szybciej identyfikować pojawiające się błędy oraz sytuacje wymagające większej uwagi uczestników przedsięwzięcia. Respondenci zauważają również, że często przez problemy z przepływem informacji pracuje się nad rozwiązaniem, które z różnych powodów jest już nieaktualne. Znaczna liczba respondentów zwracała uwagę na znaczenie wymiany informacji w procesie podejmowania decyzji dotyczących przedsięwzięcia. Może to dotyczyć choćby zatwierdzania materiałów, zmian w dokumentacji, akceptacji, fakturowania, harmonogramu robót czy zaangażowania odpowiednich sił ludzkich i sprzętowych. Wszystkie elementy mają silny wpływ na końcowy efekt, czyli terminowe zakończenie prac w założonej jakości i budżecie oraz zadowolenie inwestora.



Rys. 12. Rozkład odpowiedzi na pytanie, czy w opinii ekspertów efektywna komunikacja pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego umożliwiła sukces projektu i czy pozytywnie wpłynęła na czas trwania przedsięwzięcia, koszty, jakość oraz warunki bezpieczeństwa i higieny pracy. Opracowanie własne

Jak istotna jest komunikacja podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych wskazuje również fakt ilości poświęcanego na nią czasu. Okazuje się, że blisko 70% ankietowanych poświęca codziennie ponad 50% czasu pracy na komunikację (rys. 13). Wnioskować można, że poprawa efektywności komunikacji mogłaby zaoszczędzić cenny czas i pozwoliła skupić się na realizacji innych zadań. Ilość czasu poświęconego na komunikację również różniła się w zależności od wieloletniego doświadczenia w budownictwie. W przypadku ekspertów z mniej niż pięcioletnim doświadczeniem 36,6% respondentów poświęca 25% swojego czasu na komunikację, zaś 33,6% respondentów wskazało, że poświęca na nią aż 50% czasu pracy. Podobnie jest w przypadku ekspertów z 5-10-letnim doświadczeniem: 41,2% zgłosiło, że spędza około 50% czasu pracy na komunikacji, oraz ekspertów z 10-20-letnim doświadczeniem w budownictwie, którzy również w większości (33% tej grupy) zgłaszali, że komunikacja zabiera im połowę czasu pracy w przedsięwzięciu. Grupa o największym doświadczeniu wykazała się podobnym wynikiem jak poprzednie, ale w przeciwieństwie do dwóch pozostałych grup odpowiedzi wskazująca na poświęcanie 75% czasu pracy była na tym samym poziomie co odpowiedź dotycząca 25% czasu poświęconego na komunikację.



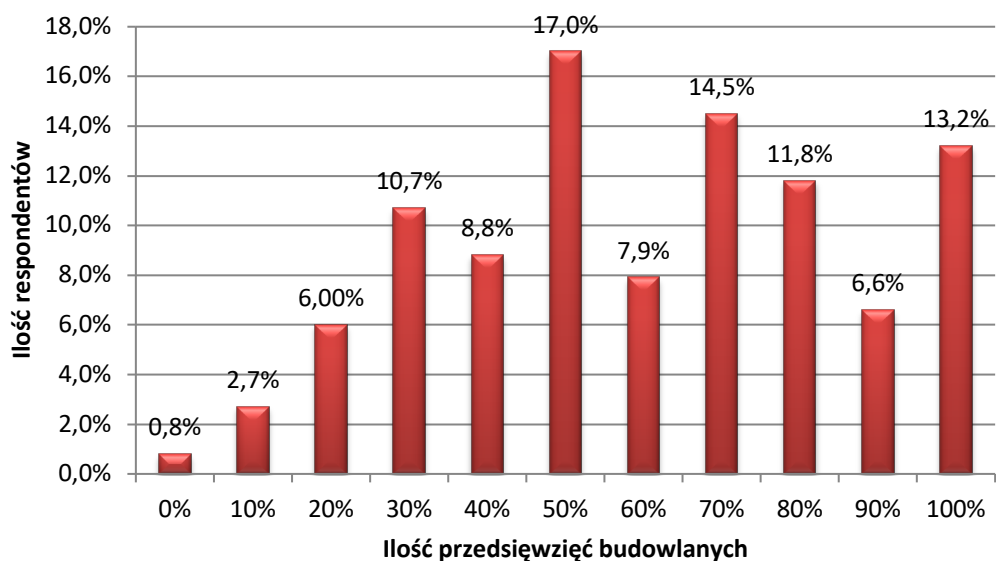
Rys. 13. Wynik badania pokazujący, ile czasu eksperci zazwyczaj poświęcają na komunikację (wykonanie rozmów telefonicznych, nawiązanie kontaktu merytorycznego, pisanie wiadomości e-mail) w ciągu jednego dnia roboczego. Opracowanie własne

Można stwierdzić, że poprawa efektywności komunikacji może pomóc zaoszczędzić cenny czas i pozwoli uczestnikom skupić się na realizacji innych zadań.

3.1.2.3. Opinie o problemach w realizacji przedsięwzięć budowlanych ze względu na brak efektywnej komunikacji

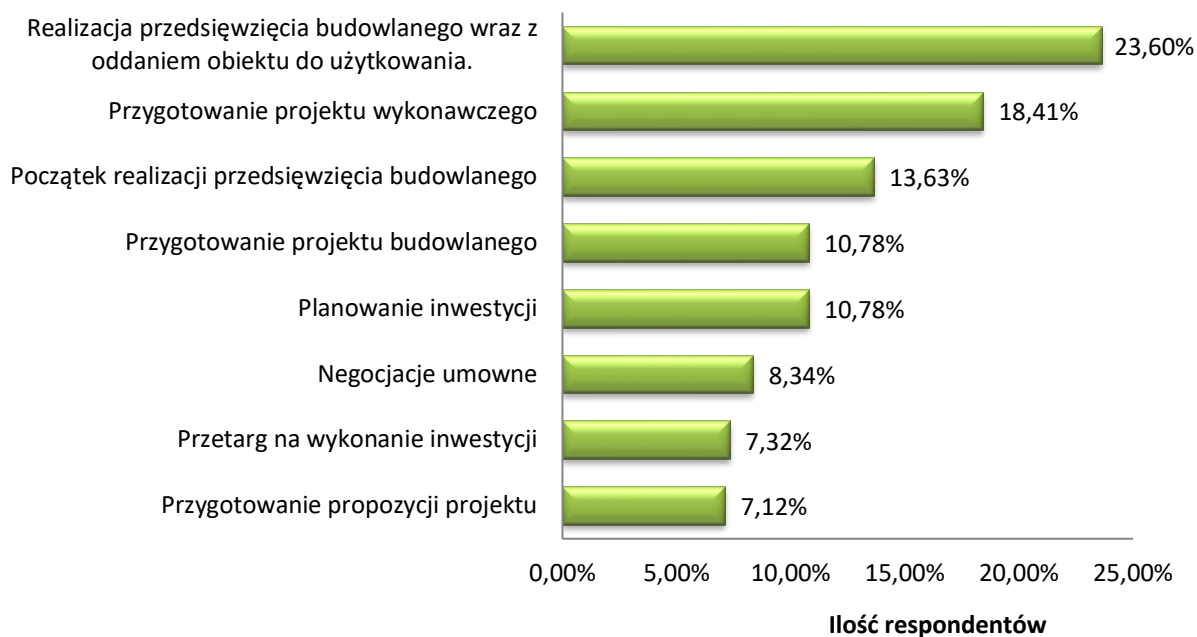
Ze względu na ilość problemów, które mogą wystąpić podczas wykonywania większych przedsięwzięć budowlanych, ważne jest, aby dzielić się informacjami, a nie tylko koncentrować się na poszczególnych zadaniach. Nowe, wcześniej nieprzewidziane okoliczności pojawiają się przez cały czas trwania przedsięwzięcia. Zmieniają one czas pracy, warunki, a nawet wymuszają wprowadzenie zmian projektowych, które wymagają od wszystkich stron szybkiego reagowania, aby skutecznie rozwiązywać problemy. Respondenci przytoczyli konkretne przykłady dotyczące znaczenia komunikacji dla rozwiązywania problemów na zrealizowanych przedsięwzięciach. Obejmowały one przykładowo nieprzewidzianą potrzebę wzmocnienia gruntu czy odkrycie niezidentyfikowanej infrastruktury podziemnej podczas robót ziemnych, gdzie konieczne było podjęcie szybkich działań. Harmonogram pozostawia niewiele miejsca na błędy i problemy, dlatego muszą być one szybko rozwiązane. Płynny przepływ informacji pomiędzy wykonawcą, podwykonawcą i projektantem może pozwolić na przedstawienie nowych pomysłów na rozwiązywanie problemów, które mogą przynieść efekty o wiele szybciej.

Zdaniem respondentów brak komunikacji lub jej niewystarczająca ilość generuje liczne problemy. Zauważyli oni jednak, że nadmiar komunikacji również może mieć negatywny wpływ w procesie budowy. Właściwa komunikacja podczas wykonywania robót budowlanych skutkuje tym, że wszyscy posiadają odpowiednie informacje i wiedzę, jak je interpretować. Pozwala to uniknąć błędów i poprawek, które mogą znacząco wpłynąć na koszty i tempo pracy. Umożliwia to również wszystkim zaoszczędzić czas. Respondenci byli zdania, że przepływ informacji gwarantuje efektywną pracę w kierunku osiągnięcia wspólnego celu. Respondenci ocenili także efektywność komunikacji w zrealizowanych w Polsce przedsięwzięciach budowlanych. Ilość i jakość przekazywanych informacji oraz sposób komunikacji podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego nie jest wystarczająca. Aż 93,1% respondentów stwierdziło, że proces komunikacji podczas przedsięwzięć mógłby być lepszy (rys. 14). Największa grupa respondentów (17,0%) zgłosiła, że dotyczyło to połowy przedsięwzięć, podczas gdy tylko nieco mniejsza liczba respondentów (14,5%) wskazała, że dotyczy to 70% przedsięwzięć, a 13,2% respondentów wskazało na 100%, co było trzecią najczęściej wybieraną opcją.



Rys. 14. Rozkład odpowiedzi na pytanie, w ilu procentach przedsięwzięć budowlanych zrealizowanych przez ekspertów powinien być lepszy proces komunikacyjny. Opracowanie własne

Większość badań dotyczących komunikacji i jej doskonalenia w przedsiębiorstwach budowlanych koncentruje się na etapie projektowania, podczas gdy brak jest opracowań na temat etapu realizacji budowy. Zgodnie z wynikami omawianego badania w warunkach polskich (rys. 15) większość problemów z komunikacją pojawia się podczas przekazywania projektu na początku prac budowlanych w fazie budowy. Dlatego też zarządzanie komunikacją przez planowanie i monitorowanie w całym cyklu realizacji przedsięwzięcia budowlanego powinno stać się głównym przedmiotem zainteresowania ze względu na jego dynamiczny charakter.



Rys. 15. Rozkład odpowiedzi na pytanie, na jakim etapie przedsięwzięcia budowlanego występuje najczęściej problemów z komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Opracowanie własne

3.1.2.4. Opinie o wpływie komunikacji na sukces realizacji przedsięwzięć budowlanych

W ramach badań ankietowych zweryfikowano czynniki sukcesu przedsięwzięć budowlanych wskazane przez Knottena, Lædre i Hansena (2017). Na podstawie przedmiotowej literatury scharakteryzowano dziewięć czynników sukcesu, które były najczęściej wymieniane przez badaczy (tab. 2).

Tabela 2

Opis czynników mających wpływ na sukces przedsięwzięcia budowlanego.

Opracowanie własne na podstawie (Knotten, Lædre, Hansen 2017)

CZYNNIKI SUKCESU
Inwestor (inwestor, który przedstawia odpowiednio swoje wymagania i posiada odpowiedni budżet)
Komunikacja (koordynacja przedsięwzięcia, negocjacje, rozwiązania projektowe, sieć powiązań między uczestnikami)
Decyzyjność (terminowe podejmowanie decyzji)
BHP (procedury zapewniające bezpieczne warunki pracy podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego)
Zarządzanie wiedzą (posiadanie podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego doświadczonych i dobrze wykwalifikowanej kadry zarządzającej oraz dzielenie się posiadaną wiedzą)

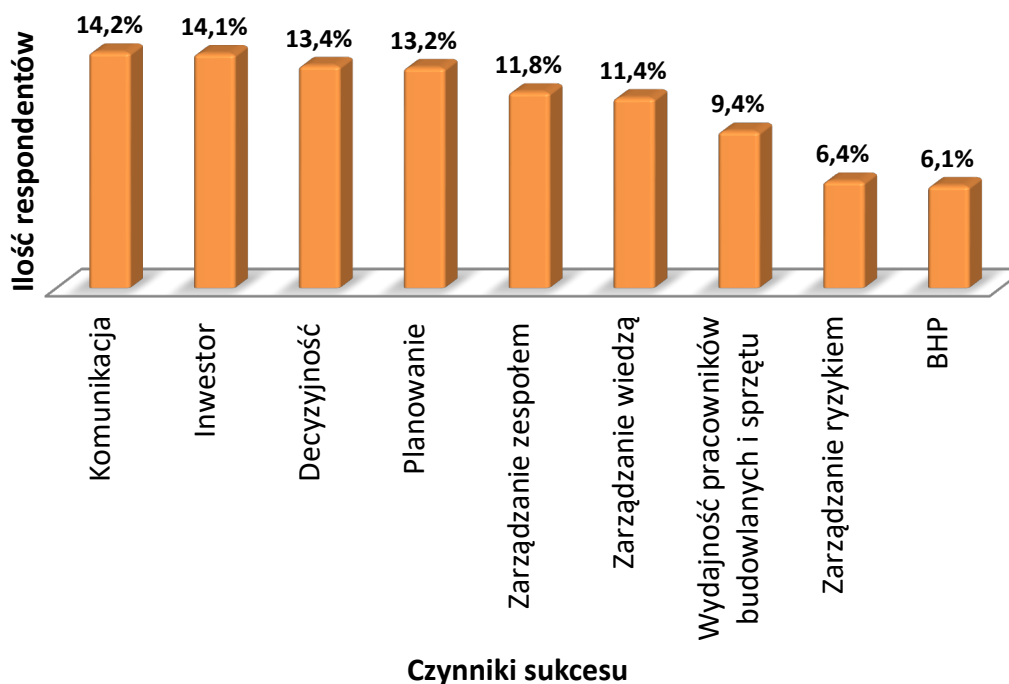
Wydajność pracowników budowlanych i sprzętu (posiadanie podczas przedsięwzięcia budowlanego doświadczonej i dobrze wykwalifikowanej kadry robotniczej oraz odpowiedniego zaplecza sprzętowego)

Planowanie (planowanie całego procesu realizowanego przedsięwzięcia budowlanego, planowanie kosztów, planowanie czasu, planowanie jakości, kontrola zmian)

Zarządzanie ryzykiem (identyfikacja, ocena, monitorowanie i minimalizacja ryzyka występującego podczas wykonywania przedsięwzięcia, minimalizacja skutków zdarzeń niepożądanych)

Zarządzanie zespołem (zarządzanie zespołem kadry kierowniczej oraz pracownikami i podwykonawcami, delegowanie pracy, zaangażowanie w realizację przedsięwzięcia)

W przeprowadzonym badaniu ankietowym respondenci zostali poproszeni o uszeregowanie tych czynników w kolejności od największego wpływu na sukces przedsięwzięcia budowlanego do najmniejszego (rys. 16). Według ankietowanych największy wpływ ma skuteczna komunikacja, co podkreśla wagę zagadnienia.

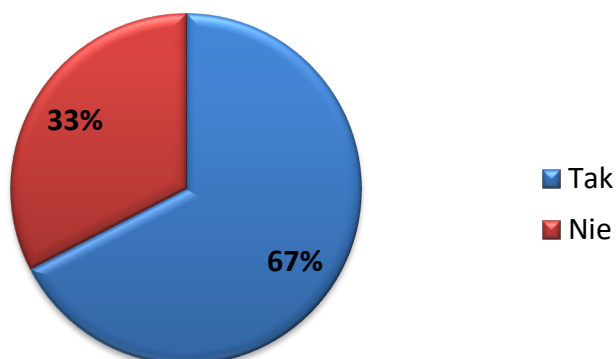


Rys. 16. Rozkład odpowiedzi na pytanie, które ze wskazanych czynników w opinii ekspertów mają wpływ na sukces przedsięwzięcia budowlanego. Opracowanie własne

3.1.2.5. Opinie o kosztach komunikacji w realizacji przedsięwzięć budowlanych

Respondenci zostali zapytani czy ich zdaniem komunikacja podczas realizacji projektu budowlanego generuje koszty. 67% ankietowanych potwierdziło ten fakt (rys. 17). Koszty komunikacji wynikają z czasu pracy, jaki uczestnicy przedsięwzięć poświęcają

na komunikację. Ogólnie jednak koszty komunikacji są trudne do uchwycenia i nie stanowią klarownej pozycji w zestawieniu kosztów budowy.



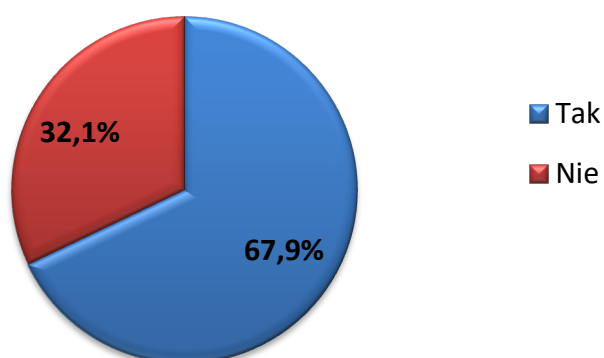
Rys. 17. Rozkład odpowiedzi na pytanie, czy w opinii ekspertów komunikacja w przedsięwzięciu budowlanym generuje koszty. Opracowanie własne

Respondenci zwracają jednak uwagę, że komunikacja prowadzona w odpowiedni sposób może uchronić przedsięwzięcie przed poniesieniem dodatkowych kosztów, spowodowanych pojawieniem się problemów w trakcie jego realizacji.

3.1.2.6. Opinie o sposobach poprawiających komunikację w przedsięwzięciach budowlanych

Ankietowani zostali zapytani, czy podczas realizowanych przez nich inwestycji stosowane były jakieś metody lub programy poprawiające efektywność komunikacji pomiędzy uczestnikami budowy. W efekcie 60% respondentów wskazało odpowiedź negatywną. Pozostałe 40% ankietowanych poproszono o wskazanie tych metod lub programów. Główną pojawiającą się odpowiedzią były narady koordynacyjne z inwestorem i podwykonawcami oraz narady wewnętrzne wykonawcy. Wskazywano również media komunikacyjne: telefon, e-mail, serwery z dostępem do dokumentacji, aplikacje wskazujące lokalizację usterek, komunikatory tekstowe na telefon, dysk Google, MS Teams, Skype Outlook. Wymieniono także wiele systemów wspomagających projektowanie oraz dzielenie się dokumentacją, np. BIM 360, FusionLive, Navisworks, Sharepoint. Brakowało jednak programów, które w sposób kompleksowy mogłyby wspomóc zarządzanie komunikacją. Jednocześnie zapytano decydentów, czy widzą potrzebę opracowania narzędzia wspomagającego (systemu

informatycznego) do sterowania przepływem informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.



Rys. 18. Rozkład odpowiedzi na pytanie, czy decydenci widzą potrzebę opracowania narzędzia wspomagającego (systemu informatycznego) do sterowania przepływem informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Opracowanie własne

Aż 67,9% ankietowanych (rys. 18) widzi potrzebę powstania i byłoby zainteresowanych użytkowaniem (mogących powstać w przyszłości) narzędzi informatycznych efektywnie wspomagających zarządzanie komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.

3.1.3. Badanie zgodności opinii respondentów

W celu uznania uzyskanych ocen ważności parametrów dotyczących wielokrotnego wyboru odpowiedzi (rys. 14-16) za wiarygodne, zgodność preferencji respondentów została zweryfikowana przy użyciu współczynnika konkordancji (ang. *concordance coefficient*), inaczej zwanego współczynnikiem zgodności Kendalla (Cabała 2010). W przypadku występowania powiązań (kilka parametrów ocenianych na tym samym poziomie) współczynnik zgodności wyraża się wzorem (1) (Cabała 2010).

$$W = \frac{s}{s_{max} - mT} = \frac{\sum_{j=1}^p \left(R_j - \frac{m(p+1)}{2} \right)^2}{\frac{1}{12} m^2 (p^3 - p) - mT} \quad (1)$$

gdzie:

p – liczba parametrów,

m – liczba respondentów,

s – stopień faktycznych relacji między rankingami,

s_{max} – stopień relacji w przypadku pełnej zgodności rankingów,

R_j – suma stopni j -tego parametru (wzór 2) (Cabała 2010),

T – korekta dla wiązań (wzór 3) (Cabała 2010).

$$R_j = \sum_{i=1}^m a_{ij} \quad (2)$$

gdzie:

a_{ij} – ranga j -tego parametru (dla $j = 1, 2, \dots, p$), wyznaczonego na podstawie preferencji i -tego respondenta (dla $i = 1, 2, \dots, m$)

$$T = \sum_{i=1}^m T_i \quad (3)$$

$$T_i = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^K (t_k^3 - t_k) \quad (4)$$

gdzie:

K – liczba grup posiadających tę samą rangę ($k = 1, 2, \dots, K$) w k -tym szeregu,

t_k – liczba identycznych rang wiązanych w grupie.

Wartość współczynnika zgodności kształtuje się w przedziale od 0 do 1, gdzie 1 oznacza pełną zgodność szeregów, a 0 brak zgodności. W literaturze proponuje się następującą interpretację stopnia zgodności na podstawie wartości tego współczynnika (Stabryła 2005):

- dostateczny: dla przedziału 0,20–0,40,
- dobry: dla zakresu 0,41–0,60,
- plus dobry: dla zakresu 0,61–0,80,
- bardzo dobry: dla zakresu 0,81–0,95,
- idealny: dla zakresu 0,96–1,00.

Przeprowadzony został test istotności statystycznej współczynnika konkordancji przy wykorzystaniu statystyki chi-kwadrat. Hipoteza zerowa (H_0) o braku powiązania pomiędzy szeregami jest odrzucana, gdy wartość χ_r^2 (wzór 5) jest równy lub wyższy niż χ_{α}^2 , czyli wartości odczytanej z tablic rozkładu chi-kwadrat dla $df = p - 1$ stopni swobody przy danym poziomie istotności α (Cabała 2010) ($\alpha = 0,05$ – zostało przyjęte).

$$\chi_r^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}mp(p+1) - \frac{1}{p-1}T} \quad (5)$$

W tabeli 3 przedstawiono wyniki weryfikacji zgodności opinii respondentów. Uzyskane wyniki wskazały dobry oraz dostateczny stopień zgodności wśród respondentów biorących udział w badaniu.

Tabela 3

Wyniki weryfikacji zgodności opinii respondentów

Analizowany parametr	<i>p</i>	<i>m</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>W</i>	Interpretacja	χ^2	<i>df</i>	<i>a</i>	χ^2_{α}	H ₀
Liczba przedsięwzięć wymagająca lepszej komunikacji	11	365	6113552	907,5	0,427	Dobry stopień zgodności	1557,891	10	0,05	18,307	Odrzucona
Etap występowania problemów w komunikacji	8		1529427	4906,5	0,402	Dobry stopień zgodności	1027,101	7		14,067	Odrzucona
Czynnik sukcesu przedsięwzięcia budowlanego	9		2100541	1549	0,283	Dostateczny stopień zgodności	825,725	8		15,507	Odrzucona

Dla wszystkich analizowanych parametrów hipoteza zerowa może zostać odrzucona. Zgodność opinii respondentów nie była przypadkowa, co potwierdza ich kompetencje w formułowaniu opinii na temat komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych.

3.1.4. Podsumowanie badań ankietowych

Na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych można stwierdzić, że komunikacja pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych jest sprawą istotną. Wpływa ona na czas, koszty i jakość realizowanych inwestycji. Sprawna komunikacja przyczynia się również w znacznym stopniu do sukcesu przedsięwzięcia. Wykazano jednak, że komunikacja w realizowanych przedsięwzięciach nie jest w pełni efektywna, co prowadzi do powstawania problemów, a co za tym idzie opóźnień, i generuje dodatkowe koszty. Brakuje metody wspomagającej zarządzających przedsięwzięciem budowlanym w planowaniu i monitorowaniu komunikacji pomiędzy uczestnikami realizacji budowy. Niniejsze badania stanowią więc uzasadnienie do podjęcia działań w celu opracowania takiej metody.

4. Podejście sieciowe w analizie komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym

4.1. Sieciowy charakter komunikacji

We wcześniejszych rozdziałach przywołano interpretację przedsięwzięcia budowlanego jako złożonego, dynamicznego i tymczasowego systemu, składającego się z różnych elementów, takich jak np. zasoby ludzkie, zasoby sprzętowe i materiałowe, informacje, zadania, pomiędzy którymi występują różnorodne relacje. Modelowanie i analiza tego typu systemów wymaga przyjęcia właściwego podejścia z zastosowaniem odpowiednich metod i narzędzi. Zastosowanie teorii sieci w przypadku modelowania i analizy przedsięwzięć budowlanych wydaje się być sprawdzonym, najprostszym i najbardziej efektywnym podejściem (Śladowski 2021).

Powszechnie uważa się, że pierwszym badaniem związanym z problematyką sieci jest artykuł L. Eulera z 1736 roku, poświęcony tak zwanemu zagadnieniu mostów królewieckich (Alexanderson 2006). Rozwikłanie tego problemu traktowane jest jako pierwsze użycie teorii grafów. Teoria grafów rozwinęła się w drugiej połowie XIX wieku za sprawą badań Sylwestera, będącego twórcą pojęcia graf (ang. *graph*) (Sylvester 1878). W XX wieku grafy zastosowano w socjologii, wykorzystując je do budowy socjogramów (Moreno 1934), czyli graficznej prezentacji relacji występujących pomiędzy członkami grupy, co znalazło zastosowanie w analizie tak zwanych sieci społecznych (ang. *social network analysis*). Praca P. Erdősa i A. Rényiego (1959), dotycząca opracowania tak zwanych grafów losowych (ang. *random graphs*), stanowiła kolejny przełom w rozwoju nauki o sieciach. Następnie pod koniec XX wieku Barabasi i Albert przedstawili tak zwane sieci bezskalowe (ang. *scale-free networks*) (Barabasi, Albert 1999).

W ciągu dwóch ostatnich dekad badania dotyczące zarządzania projektami budowlanymi skupiły coraz większą uwagę na sieciowym podejściu do analizy przedsięwzięć budowlanych (Cleland, Kerzner 1985; Turner, Müller 2003; Taylor, Levitt 2007). Przedsięwzięcia budowlane mają charakter tymczasowy (Turner, Müller 2003; Dogan, Arditi, Gunhan, Erbasaranoglu 2015). Możliwość zastosowania perspektywy sieciowej do zrozumienia tych tymczasowych systemów została dobrze oceniona przez społeczność badaczy przedsięwzięć (Steen, DeFillippi, Sydow, Pryke, Michelfelder 2018).

Przejęcie do nowoczesnych metod zarządzania w budownictwie według Tracha i Lendo-Siwickiej (2018) jest ściśle związane z sieciową strukturą organizacyjną, która

jako nowy model redystrybucji zasobów intelektualnych i produkcyjnych dąży do minimalizacji czasu i kosztów w osiągnięciu wyznaczonych celów. Zauważają oni, że badanie struktury połączonych przedsiębiorstw inwestycyjno-budowlanych dowodzi, że może to być sieć złożona z wielu uczestników, którzy dzięki interakcji mogą uzyskać wspólną korzyść. Autorzy (Trach, Lendo-Siwicka 2018), odwołując się do paradygmatu Milesa i Snowa (1994), stwierdzają, że zastosowanie innowacyjnych, wykorzystujących podejście sieciowe systemów zarządzania przez uczestników przedsięwzięcia budowlanego skutkuje zmniejszeniem kosztów i skróceniem czasu realizacji inwestycji. Miles i Snow (1994) zaproponowali uznanie struktur sieciowych za nowe podejście do wdrażania strategii przedsiębiorstw. Potwierdzili potrzebę współpracy i stworzenia odpowiednich struktur dla przedsiębiorstw w zakresie wymiany informacji, wiedzy i innych zasobów. Wskazali, że wykorzystanie struktur sieciowych może znacznie ograniczyć koszty transakcji, ponieważ działania uczestników stają się bardziej skoordynowane, co w konsekwencji pozwala na produkcję i dystrybucję towarów w krótszym czasie ograniczonym umową.

Do analizy komunikacji i związanego z nią przepływu informacji między uczestnikami przedsięwzięć, które są uznawane za podstawę wspólnej pracy, a następnie ogólnej poprawy efektywności, jako skuteczne narzędzie wykorzystywano analizę sieci społecznych Social Network Analysis (SNA). Metoda ta została przyjęta jako narzędzie analityczne w badaniach nad przemysłem budowlanym.

4.2. Analiza samoorganizujących się sieci komunikacji w budownictwie za pomocą metody Social Network Analysis (SNA)

Zaawansowanym i popularnym sposobem mapowania przepływu informacji są sieci komunikacji. Do ich analizy stosowana jest interdyscyplinarna metoda SNA, której rodowód związany jest z matematyczną teorią grafów (Scott 2000) oraz z algebrą macierzową (Hanneman, Riddle 2005), wykorzystująca dodatkowo dorobek psychologii społecznej, socjologii, antropologii, ekonomii oraz statystyki (Wasserman, Faust 1994). Koncepcję SNA zapoczątkowała socjometria, wprowadzona w ubiegłym wieku przez J.L. Moreno (1934), ucznia Zygmunta Freuda. W SNA można wyróżnić dwa podejścia badawcze. Pierwsze koncentruje się na sieciach społecznych przede wszystkim w kontekście ich budowy i zrozumienia zjawisk społecznych w nich zachodzących (Scott 2017). Drugie podejście skupia uwagę na matematycznej i statystycznej analizie sieci

społecznych i ich interpretacji za pomocą opracowanych miar strukturalnych takich sieci (Wasserman, Faust 1994).

Po pojawieniu się perspektywy badawczej, według której przedsięwzięcia postrzegane są jako organizacje tymczasowe, w ostatnim dwudziestolecu (Turner, Müller 2003) ten paradygmat badań został coraz bardziej wzmocniony, aby zbadać formalne i samoorganizujące się relacje w przedsięwzięciach, oparte na sieci na poziomie wewnątrzorganizacyjnym. Pryke (2004) podkreślił, że przedsięwzięcie budowlane to tymczasowa sieć koalicyjna, składająca się ze specjalistycznych firm realizujących to przedsięwzięcie, zalecając analizę sieci z użyciem SNA jako odpowiedniego narzędzia do jej badania. Istniejące badania wykazały efektywność SNA w następujących obszarach: (1) współzależność w sieciowych organizacjach, (2) transgraniczne związki organizacyjne (Pryke 2012), (3) dokładna reprezentacja struktur i metod procesów, (4) wiele poziomów analizy z zaangażowaniem powiązania mikro-makro oraz (5) integracja ilościowa, dane jakościowe i graficzne oraz ich dogłębna analiza (Ruan, Ochieng, Price, Egbu 2012). Pryke (2012) podkreślił, że żadnej z tych zdolności nie można uzyskać, stosując tradycyjne metody badań. Ponieważ środowiska przedsięwzięć budowlanych stają się dynamiczne i złożone (Hu, Chan, Le, Jin 2015), sieci stają się wrażliwe na zmiany instytucjonalne i społeczne (Chinowsky, Taylor 2012). W tym kontekście oparte na SNA badania w zarządzaniu przedsięwzięciem budowlanym wydają się przyjmować perspektywę socjologiczną i skupiać również na samoorganizujących się relacjach społecznościowych przedsięwzięcia, angażujących zewnętrznych interesariuszy, którzy nie mają bezpośrednich stosunków umownych (Aaltonen, Jaakko, Tuomas 2008; Knoke, Yang 2008). Kluczowa różnica zatem, która odróżnia badania z użyciem SNA od innych analiz i metod zarządzania, polega na tym, że SNA zwraca dodatkową uwagę na samoorganizujące się sieci w przedsięwzięciu budowlanym. Zasadniczo analiza sieci społecznościowej służy do mierzenia i wizualizacji relacji oraz przepływu informacji między ludźmi, grupami, organizacjami i innymi podmiotami przetwarzającymi informacje. McCarty, Killworth, Bernard, Johnsen i Gene (2001) wyjaśnili, że SNA jest zarówno perspektywą teoretyczną, jak i zbiorem metod. Analiza organizacji w projekcie budowlanym przy użyciu metody SNA według Borgattiego i Fostera (2003) może zapewnić bardziej relacyjny, kontekstowy i całościowy obraz przedsięwzięcia budowlanego. Autorzy (Dogan, Arditi, Gunhan, Erbasaranoglu 2015) zwracają uwagę na zdolność metody SNA do badania różnych relacji wśród uczestników przedsięwzięcia budowlanego. Jednocześnie metoda może również odnosić się do

powiązań społecznych nie tylko pomiędzy uczestnikami zaangażowanymi w realizację przedsięwzięcia, ale również uwzględnić sieć powiązań poza jego granicami organizacyjnymi (Solis, Sinfield, Abraham 2013). Lin (2014) informuje, że wykorzystanie SNA może pomóc zidentyfikować i wyjaśnić struktury organizacyjne i sposób zarządzania w przedsiębiorstwach budowlanych oraz eksplorować potencjalne zagrożenia powodujące błędy inżynierskie (Li, Lu, Kwak, Le, He 2011). Wielu autorów zajmuje się tematyką wydajności i efektywności przedsięwzięć budowlanych, wykorzystując SNA. Pryke (2017) przy użyciu SNA badał wpływ rodzajów zamówień na efektywność zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi. W pracy (Ruan, Ochieng, Price, Egbu 2012) badano zależność rozpowszechniania zintegrowanej wiedzy od struktury powiązań w sieci. Badacze (Larsen, Ballal 2005) analizowali świadomość innowacji oraz wpływ na jej przyswajanie i rozpowszechnianie wśród przedsiębiorstw budowlanych. W pracy (Chowdhury, Chen, Tiong 2011) przy użyciu SNA poddano analizie struktury przedsięwzięć Partnerstwa Publiczno-Prywatnego (PPP) w budownictwie. Praca autorstwa Abbsaian-Hosseini, Liu i Hsiang (2017) dotyczyła analizy korelacji pomiędzy stopniem centralności brygad budowlanych a ich wydajnością w realizacji wspólnych zadań. Analiza uwzględniała dynamikę tego procesu (cotygodniowe monitorowanie przedsięwzięcia), badając efekt samoorganizowania się sieci relacji między tymi brygadami. Natomiast Mok, Shen i Yang (2015) zwracają uwagę na korzyści osiągnięte przez wspieranie silnych relacji współpracy między uczestnikami, zwłaszcza w dużych przedsięwzięciach.

Jedno z pierwszych zastosowań SNA w analizie przepływu informacji w budownictwie dotyczyło problemów komunikacyjnych pomiędzy najistotniejszymi osobami zaangażowanymi w przedsięwzięcie, czyli klientami, menadżerami, architektami i kierownikami budowy (Loosemore 1997, 1998). Od tego czasu problematyka komunikacji stała się jednym z najczęściej poruszanych tematów badań z zastosowaniem SNA w budownictwie. Badanie wzorców komunikacji i koordynacji wśród uczestników przedsięwzięcia stało się ważnym tematem zainteresowań naukowych. Mead (2001) wykazał, w jaki sposób system intranetowy w ramach organizacji wpływa na komunikację w sieci. Shields i West (2003) zbadali następnie finansowe interakcje w kontekście rozsądnie ustalonej sieci komunikacji przez zachęcanie do koordynacji i udostępniania informacji. Baza danych poczty e-mail i wyszukiwanie tekstu zostały wykorzystane do zbadania spójności między siecią komunikacyjną a organizacyjną w aspekcie oceny koordynacji w przedsięwzięciu

(Hossain 2009a, 2009b; Hossain, Wu 2009; Dogan, Arditi, Gunhan, Erbasaranoglu 2015). Kilku badaczy analizowało różne elementy, takie jak: kompetencje uczestników przedsięwzięć i efektywność w komunikacji (Pauget, Wald 2013), luki w strukturze komunikacyjnej (El-Sheikh, Pryke 2010; Heng, Loosemore 2013) i systemy planowania uwzględniające komunikację w sieci (Priven, Sacks 2015). Thorpe i Mead (2001) wykorzystali SNA do określenia intensywności przepływu informacji w złożonym projektowaniu. Zastosowali analizę sieci społecznych, aby określić kluczowych członków zespołu pod względem komunikacji, i doszli do wniosku, że skuteczność systemów zarządzania przedsięwzięciem zostanie szybko utracona, gdy tylko jeden z kluczowych członków odejdzie. Sieci społecznościowe powinny więc przyczynić się do poprawy efektywności komunikacyjnej grup kierowniczych. Xue, Zhang, Wang, Fan, Yang i Dai (2018) badali wpływ sieci komunikacji na innowacje budowlane przez relacje oparte na współpracy uczestników przedsięwzięć. Chinowsky i Taylor (2012) w swoim przeglądowym artykule prezentują fakt, że większość badań w sieciach komunikacji realizowanych jest w fazie projektowej przedsięwzięcia i niezbędne byłoby podjęcie analizy w fazie realizacji budowy. Brookes, Morton, Dainty i Burns (2006) analizowali struktury relacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć w kontekście zarządzania wiedzą i przepływem informacji: „Proces wychwytywania wiedzy, transferu i uczenia się w ramach przedsięwzięcia opiera się bardzo silnie na wzorcach społecznych”. Chinowsky i inni (Chinowsky, Diekmann, Galotti 2008; Chinowsky, Diekmann, O'Brien 2010; Chinowsky, Taylor, Di Marco 2010) koncentrują się na wydajności zespołów przez wprowadzenie modelu sieci społecznościowej i ocenę wpływu struktury relacji w sieci komunikacji na efektywność przedsięwzięć. Z kolei Alsamadani, Hallowell i Javernick (2013) badali częstotliwość komunikacji, sposoby komunikacji i wpływ struktury powiązań na jej skuteczność w obrębie specjalistycznych brygad roboczych w kontekście bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP). Również Lyu, Hon, Chan, Javed, Zhang i Wong (2021), wykorzystując SNA, modelowali sieci komunikacji w zakresie bezpieczeństwa wśród brygad budowlanych mniejszości etnicznych na budowach w Hongkongu. Zbadali także zależności między sieciami komunikacji w zakresie bezpieczeństwa a cechami indywidualnymi brygad budowlanych, klimatem bezpieczeństwa, zdarzeniami potencjalnie wypadkowymi i urazami wśród pracowników. W kolejnych badaniach (Albert, Hallowell 2017) w zakresie BHP zastosowano analizę sieci społecznych, aby ocenić związek między wzorcami komunikacji w zakresie bezpieczeństwa wśród pracowników przedsięwzięć budowlanych a skutecznością rozpoznawania zagrożeń.

Wyniki badań sugerują, że dobrze skomunikowane załogi, z większą liczbą powiązań komunikacyjnych w zakresie bezpieczeństwa (czyli gęstość sieci), wspólnie rozpoznają większy odsetek zagrożeń w porównaniu do załóg z mniejszą liczbą powiązań. Wyniki te podkreślają także znaczenie wzorców sieciowych w komunikacji wobec zagrożeń budowlanych. Także Pin-Chao, Guangpu, Dongping i Wei (2014) wykorzystali podejście sieciowe do analizy zależności komunikacji i bezpieczeństwa w chińskich przedsiębiorstwach budowlanych. W pracy (Di Marco, Taylor, Alin 2010) autorzy poddali badaniom relacje w kontekście wymiany wiedzy i przepływu informacji w wielokulturowych projektach (poruszyli problem globalizacji w sieciach). Autorzy (Jafari, Mahomed, Lee, Abourizk 2020) zastosowali SNA w badaniu zarządzania zmianą w przedsiębiorstwach budowlanych, stwierdzając, że wymaga ona efektywnej komunikacji między różnymi uczestnikami przedsięwzięcia w celu kontrolowania czasu i kosztów jego realizacji. Swan, McDermott i Khalfan (2007) zauważają, że zastosowanie analizy sieci społecznościowej pozwala na ustrukturyzowanie zarządzania przepływem informacji podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego. W swoich badaniach zwracają również uwagę na istotę zaufania w komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Arriagada i Alarcón (2014) zajęli się w swoich badaniach zarządzaniem wiedzą w budownictwie. Zauważyli oni, że przedsięwzięcia budowlane to organizacje wymagające wiedzy, zależne od przepływu informacji pomiędzy uczestnikami oraz od umiejętności specjalistów biorących w nich udział. Według autorów skuteczne zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwie oraz w przedsięwzięciu budowlanym wymaga identyfikacji istniejących praktyk zarządzania wiedzą w organizacji, a następnie oceny sieci wiedzy istniejącej w przedsięwzięciu przez analizę komunikacji. W konsekwencji zaproponowali oni koncepcję modelu projektowania strategii zarządzania wiedzą w przedsiębiorstwie budowlanym, który powstał przy zastosowaniu analizy sieci społecznych (SNA).

Ghosh i Lee (2021) zbadali dynamikę komunikacji między uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Wykorzystali SNA do analizy struktur komunikacji pomiędzy tymi uczestnikami w ramach formalnej i samoorganizującej się sieci komunikacji. Wyniki tego badania pokazały również, w jaki sposób formalna i samoorganizująca się komunikacja są ze sobą powiązane. Znaczna część autorów zwraca uwagę na tworzenie się samoorganizujących sieci relacji w przedsięwzięciu budowlanym. Zauważono, że w rzeczywistości uczestnicy przedsięwzięć mają tendencję do komunikowania się za pośrednictwem dynamicznych struktur sieciowych,

ograniczając w ten sposób istotność formalnej hierarchii. Należy zatem badać i wykorzystać zalety tych dynamicznych sieci i poprawić koordynację działań.

Autorzy (Malisiovas, Song 2014) zastosowali teorię sieci społecznych, aby pomóc zespołom zarządzającym budową w mapowaniu komunikacji i identyfikowaniu problemów związanych z udostępnianiem informacji w przedsięwzięciach budowlanych. W tym kontekście SNA zostało użyte jako narzędzie diagnostyczne do analizy formalnych i samoorganizujących się relacji między uczestnikami przedsięwzięcia, które dostarczyło informacji o problemach komunikacyjnych w sieci tego przedsięwzięcia na jego wczesnym etapie i umożliwiło zespołom zarządzającym proponowanie tej komunikacji. Cross i Prusak (2002) zwracają uwagę, że SNA zapewnia metodę zrozumienia samoorganizujących się, nieformalnych sieci relacji oraz pozwala nimi zarządzać. Kolejne badania formalnych i samoorganizujących się relacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych dotyczyły wykrywania problemów w komunikacji i współpracy w złożonym i tymczasowym środowisku (samoorganizującej się sieci uczestników) fazy projektowej przedsięwzięcia infrastrukturalnego, polegającego na rozbudowie potencjału stacji bankowej na linii metra w Londynie (Pryke, Badi, Almadhoob, Sunadraraj, Addyman 2018). Przyjęcie sieciowego podejścia pozwoliło autorom na porównanie formalnie wyznaczonej struktury organizacyjnej przedsięwzięcia z faktycznymi samoorganizującymi się relacjami jego uczestników. W ramach projektu zespół naukowy i zespół osób zarządzających przedsięwzięciem po wykryciu nieprawidłowości w samoorganizującej się sieci relacji zaproponował ingerencję w rzeczywistą sieć komunikacji w celu poprawy jej efektywności. Autorzy zwrócili uwagę na potrzebę optymalizacji takiej, poprawiającej skuteczność komunikacji, ingerencji w sieć.

Autorka rozprawy wraz z współautorami (Śladowski, Radziszewska-Zielina, Kania 2019) również zauważyli potrzebę badania tymczasowych organizacji tworzonych na potrzeby realizacji robót budowlanych. Dokonano analizy samoorganizującej się sieci komunikacji pomiędzy uczestnikami budowy osiedla mieszkaniowego zlokalizowanego w Katowicach, wykorzystując metodę analizy sieci społecznych. Analizowana była efektywność komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia w fazie realizacji robót wykończeniowych. Analiza strukturalna przedmiotowej sieci pozwoliła na głębsze zrozumienie ukrytych, nieformalnych relacji pomiędzy uczestnikami tego przedsięwzięcia oraz wykrycie pewnych mankamentów i dysfunkcji tych uczestników. Zwrócono uwagę na fakt, że nieformalne, ukryte relacje pomiędzy uczestnikami są

dynamiczne, ponieważ stale się zmieniają (ewoluują) i dostosowują do potrzeb realizacji celów przedsięwzięcia. Istotne jest zatem monitorowanie tych samoorganizujących się sieci przez cały cykl realizacji tego przedsięwzięcia. Systematyczne wykrywanie różnych dysfunkcji uczestników w analizowanej sieci może być podstawą dla osób zarządzających tą organizacją do interwencji w strukturę relacji pomiędzy tymi uczestnikami. Według autorów (Śladowski, Radziszewska-Zielina, Kania 2019), jak i inicjatorów wcześniej przywołanych badań (Pryke, Badi, Almadhoob, Sunadraraj, Addyman 2018) ewentualne interwencję kadry menadżerskiej w tą ukrytą strukturę relacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia powinny być optymalizowane w kontekście osiąganych celów. Wskazano, że zachodzi potrzeba opracowania skutecznych metod optymalizacji, wspomagających te ewentualne interwencje w strukturę takich sieci.

Kontynuując badania, autorzy (Radziszewska-Zielina, Śladowski, Kania, Sroka, Szewczyk 2019) opracowali optymalizacyjne podejście do planowania takich interwencji w sieć uczestników przedsięwzięcia budowlanego. Metodę zaprezentowano na przykładzie rzeczywistego przedsięwzięcia budowlanego związanego z realizacją osiedla budynków wielorodzinnych. W wyniku analizy strukturalnej sieci stwierdzono nieprawidłowości w komunikacji pomiędzy uczestnikami tego przedsięwzięcia, a zwłaszcza w komunikacji z kierownikiem budowy. Wykryta dysfunkcja kierownika budowy wymagała interwencji w celu poprawy jego pozycji w samoorganizującej się sieci wymiany informacji (duża część informacji nie docierała do kierownika budowy, co obniżyło jego kontrolę nad jej przepływem). W związku z tym, w sposób optymalny z punktu widzenia minimalizacji liczby kanałów, wprowadzone zostały dodatkowe kanały pomiędzy odpowiednimi węzłami w sieci w celu zwiększenia strukturalnych miar centralności kierownika budowy. Dodatkowym ograniczeniem w ramach optymalnej interwencji było wskazanie niepożądanych kanałów pomiędzy uczestnikami realizacji budowy, którzy z powodów formalnych i merytorycznych nie muszą albo nie powinni wymieniać się informacjami. Otrzymane rozwiązanie (co najmniej suboptymalne) maksymalnie zwiększyło wartość strukturalnych miar centralności kierownika budowy, co spowodowało, że jego pozycja w samoorganizującej się sieci stała się najbardziej znacząca. Uzyskane rozwiązanie wspomaga podejmowanie decyzji w zakresie ingerencji w sieciową strukturę samoorganizujących się relacji, a opracowana metoda optymalizacyjna wskazała możliwości poprawy komunikacji w takiej sieci. Efekty analizy potwierdziły potencjał aplikacyjny przedstawionej metody, jednakże należy

zauważyć, że skupia się ona jedynie na uczestnikach komunikacji, nie biorąc pod uwagę posiadanych przez nich informacji ani zakresu realizowanych przez nich zadań, co stanowi istotne ograniczenie tej metody.

Trach i Bushuyev (2020) stwierdzili, że sieć komunikacyjna jest jednym z elementów systemu zarządzania wiedzą w projektach i służy do organizowania oraz utrzymywania powiązań informacyjnych pomiędzy uczestnikami projektu. Autorzy przeanalizowali sieć komunikacyjną pomiędzy uczestnikami projektu w budownictwie mieszkaniowym za pomocą analizy sieci społecznych (SNA), obliczając i analizując miary centralności dla uczestników realizacji projektu budowlanego. W badaniach (Trach, Lendo-Siwicka 2021) wykorzystano analizę sieci społecznych uczestników przykładowego przedsięwzięcia budowlanego do identyfikacji kluczowych uczestników za pomocą miar centralności oraz identyfikacji społeczności uczestników sieci. Analiza czterech miar centralności węzłów sieci wykazała, że dla kilku kluczowych uczestników wystąpiło znaczne obciążenie informacjami. Przedstawiono hipotetyczny przykład wykorzystania techniki grupowania w celu poprawy komunikacji w ramach przedsięwzięcia. W obrębie badania wprowadzono do sieci dodatkowych uczestników, aby zademonstrować, w jaki sposób można zmniejszyć obciążenie innych uczestników informacjami i w ten sposób usprawnić komunikację w całej sieci. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt przywołany przez autorów (Trach, Połoński, Hrytsiuk 2021), że w obecnych czasach znacznie wzrosła liczba uczestników przedsięwzięć budowlanych. Ich wzrost prowadzi do zwiększenia przepływów informacyjnych i pogorszenia komunikacji, co z kolei może skutkować wyższymi kosztami oraz dłuższym czasem realizacji budowy. Autorzy wskazują, że należy zaprojektować taką strukturę organizacyjną, dzięki której działania uczestników staną się bardziej spójne i skoordynowane, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia liczby błędów i kolizji, co z kolei wpływa na zmniejszenie kosztów i czasu realizacji przedsięwzięcia. W badaniach przeprowadzono zatem bezpośrednią ocenę potencjalnej wydajności trzech wybranych rodzajów sieciowej struktury organizacyjnej, wykazując różnice oraz ich znaczenie dla efektywności komunikacji.

Reasumując, koncepcja wykorzystania SNA do badań sieci komunikacji w budownictwie jest szeroko rozpowszechniona w literaturze. Jednak podejście to ma istotne ograniczenie. Wykorzystanie SNA do analizy komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego skupia się na sieciach o jednym typie węzłów i nie pozwala na identyfikację bezpośrednich czynników, które tę komunikację

determinują. Dlatego kluczem do zrozumienia specyfiki komunikacji i w konsekwencji zarządzania jej przebiegiem jest przede wszystkim zbadanie formalnej struktury organizacyjnej przedsięwzięcia, analiza harmonogramu i jego realizacji oraz identyfikacja potrzebnej wiedzy, której wymiana pomiędzy uczestnikami determinuje charakter tej komunikacji. Takie podejście wymaga zastosowania wielomodowych sieci, których heterogeniczny charakter umożliwi mapowanie i analizę relacji między wieloma typami węzłów takich jak: uczestnicy, wiedza, zadania.

4.3. Potencjał metasieci do modelowania i analizy komunikacji w przedsięwzięciach budowlanych

Pojęcie metasieci (ang. *meta-network*) zostało wprowadzone przez Krackhardta i Carley (1998) wraz z modelem PCANS (*Precedence, Commitment of resources, Assignment of individuals to tasks, Networks of relations among personnel and Skills linking individuals to resources*), który można rozumieć jako: pierwszeństwo, zaangażowanie zasobów, przypisanie zasobów do zadań, sieci relacji między ludźmi i umiejętności łącznie jednostki z zasobami. Koncepcja tych heterogenicznych sieci oparta jest na integracji oraz analizie jednocześnie wielu sieci, które określają zależności pomiędzy różnymi elementami analizowanego systemu (Carley 2002a, 2002b, 2003). Do badania struktury metasieci wykorzystywana jest dynamiczna analiza sieci DNA (ang. *dynamic network analysis*). Metasieci znajdują zastosowanie w modelowaniu i analizie takich problemów jak: walka z terroryzmem (Carley 2005), opieka zdrowotna (Effken, Carley, Gephart, Verran, Bianchi, Reminga, Brewer 2011) oraz zwiększanie odporności systemów socjotechnicznych na skutki katastrof (Zhu, Mostafavi 2018). Technika analizy metasieci zapewnia obiecujący sposób zrozumienia złożonych interakcji w sieci organizacyjnej przedsięwzięcia. Podejście metasieciowe rozszerza zakres analityczny poza jeden wymiar i obejmuje kompleksową sieć procesu, obejmującą różnorodne elementy i relacje, takie jak: informacje, zadania, wiedza i zasoby. Wielowymiarowe perspektywy analityczne i złożone możliwości modelowania powodują, że metasieci są dobrym narzędziem do precyzyjnego mierzenia i diagnozowania wykonania zadań w przedsięwzięciu, a tym samym pomagają zoptymalizować harmonogramowanie i przydzielanie zasobów do realizacji zadań (McCulloh, Carley 2008).

Możliwości zastosowania metasieci wraz z ich dynamiczną analizą w planowaniu i zarządzaniu przedsięwzięciami budowlanymi zaczęły być badane dopiero niedawno

i do tej pory wydano jedynie znikomą liczbę prac na przedmiotowy temat. Większość badań z zastosowaniem teorii metasieci w budownictwie skupia się na zarządzaniu ryzykiem w przedsiębiorstwach budowlanych (Zhu, Mostafavi 2015a, 2015b, 2016, 2017; Wang, Gao, Liao 2018; Śladowski 2018, 2019, 2021; Ganbat, Liao 2019; Wang, Gao, Liao, Ganbat, Chen 2021; Liu, Chong, Liao, Ganbat 2021).

Pierwsza praca, w której autorzy dokonali analizy bezpośredniego związku komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego a harmonogramem jego realizacji, jest publikacja (Chinowsky, Taylor, Di Marco 2011), wykorzystująca SNA oraz analizę sieci zadaniowej metodą ścieżki krytycznej (CPM). Autorzy podkreślili znaczenie integracji metod analizy sieci społecznych z analizą sieci zadaniowych w identyfikacji wymaganej komunikacji i zaprezentowali to na praktycznym przykładzie. Zwrócili również uwagę na fakt optymalizacji przepływu informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia, krytykując sytuację zarówno jej niedoboru, jak i nadmiarowości, która generuje niepotrzebne koszty komunikacji. Praca jednak skupia się tylko na analizie wpływu specyfiki i sekwencji realizowanych zadań na przedmiotową komunikację, zaniedbując analizę potrzebnej wiedzy i jej przekazywania pomiędzy uczestnikami w celu realizacji tych zadań.

Li, Qian, He i Duan (2014) również dokonali próby poprawy efektywności przedsięwzięcia budowlanego, uwzględniając posiadaną przez uczestników wiedzę. Losowo usuwano poszczególnych uczestników, sprawdzając za pomocą miar strukturalnych metasieci wpływ na całkowitą efektywność przedsięwzięcia. Wskazali w ten sposób na istotę dysponowania podczas przedsięwzięcia odpowiednią ilością informacji oraz niezbędnego procesu przekazywania ich pomiędzy uczestnikami. Ingerencja autorów w metaseć przedsięwzięcia została wykonana w sposób losowy, sprawdzając spadek lub poprawę efektywności. Wskazane byłoby prowadzenie takiej ingerencji w sposób optymalny.

W badaniach (Li, Lu, Li, Ma 2015) autorzy uwzględnili aspekt potrzebnej informacji i stan jej posiadania przez uczestników przedsięwzięcia. Wykorzystując do tego celu potencjał metasieci, na przykładzie budowy sieci salonów samochodowych w Chinach dokonali optymalizacji wydajności tych przedsięwzięć na podstawie przydziału uczestników do poszczególnych zadań ze względu na posiadaną wiedzę lub przez uzupełnienie jej ewentualnego niedoboru wśród wspomnianych uczestników przez ich doszkalanie. Autorzy jednak nie analizowali znaczenia i potrzeby komunikacji

pomiędzy uczestnikami w celu wzajemnego udostępniania brakującej wiedzy potrzebnej do realizacji poszczególnych zadań.

W wyniku przeprowadzonych badań literaturowych stwierdzono wiele ograniczeń proponowanych koncepcji modelowania i analizy komunikacji w przedsiębiorstwie budowlanym. Zdaniem autorki potrzebne jest kompleksowe, optymalizacyjne podejście do planowania i monitorowania wymaganej komunikacji pomiędzy uczestnikami realizowanego przedsięwzięcia budowlanego. Optymalizacja powinna zostać przeprowadzona na podstawie danych dotyczących ogólnie określonej, formalnej struktury organizacyjnej przedsięwzięcia, harmonogramu realizacji zadań z przypisaniem uczestników do ich realizacji, a także informacji na temat posiadanej przez uczestników wiedzy, która jest potrzebna do realizacji poszczególnych zadań. Jednocześnie optymalizacja powinna uwzględniać dynamiczny i tymczasowy charakter analizowanego przedsięwzięcia budowlanego.

5. Autorska metoda planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego

5.1. Definicja metasieci

Na potrzeby budowy struktury zależności pomiędzy uczestnikami, wiedzą i zadaniami przedsięwzięcia budowlanego wykorzystano koncepcję metasieci (Krackhardt, Carley 1998).

Dany jest zbiór sieci, z którego każda jest oparta na skierowanym grafie, składającym się z dwóch zbiorów elementów, U i V , oraz zbioru relacji: $E \subset U \times V$. Każda para elementów $(i, j) \in E$ dla $i \in U$ oraz $j \in V$ oznacza relację pomiędzy i oraz j . Zestaw sieci reprezentujących takie relacje nazywamy metasiecią (Li, Qian, He, Duan 2014; Śladowski 2018, 2019).

Dla analizy komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym wprowadzono trzy klasy węzłów (wierzchołków) w metasieci, symbolizujących elementy modelowanego systemu: uczestnicy (ang. *agents*) – interpretowani jako ludzie lub organizacje, wiedza (ang. *knowledge*) i zadania (ang. *tasks*), oraz sześć typów łuków – połączeń przedstawiających relacje między modelowanymi elementami.

Zintegrowany w ramach metasieci zestaw sieci może być reprezentowany przez zestaw macierzy, których interpretację graficzną dla wymienionych powyżej przykładowych trzech klas węzłów zawiera tabela 4.

Tabela 4

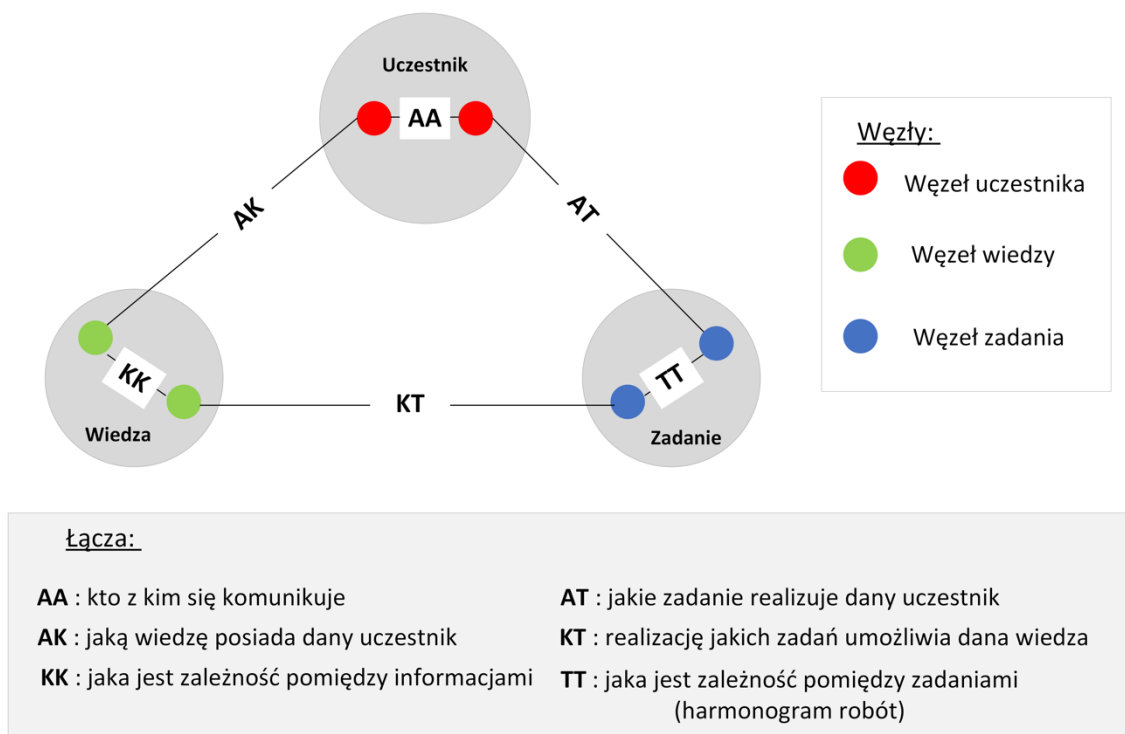
Metamacierz zawierająca macierze, reprezentująca sześć rodzajów sieci w ramach trzech klas węzłów. Opracowanie własne na podstawie (Śladowski 2021)

V U	A (Uczestnik)	K (Wiedza)	T (Zadanie)
A (Uczestnik)	(AA) <i>Kto z kim się komunikuje</i>	(AK) <i>Jaką wiedzę posiada dany uczestnik</i>	(AT) <i>Jakie zadania realizuje dany uczestnik</i>
K (Wiedza)	*	(KK) <i>Jaka jest zależność pomiędzy informacjami</i>	(KT) <i>Realizację jakich zadań umożliwia dana wiedza</i>
T (Zadanie)	*	*	(TT) <i>Jaka jest zależność pomiędzy zadaniami</i>

Reprezentacją tak zwanych sieci jednomodowych są kwadratowe macierze sąsiedztwa, które określają relacje w ramach jednej klasy węzła, np. macierz **AA** to relacje pomiędzy uczestnikami (człowiek lub organizacja), macierz **TT** to zależności pomiędzy zadaniami itd. Macierze poza przekątną metamacierzy reprezentują tak zwane sieci dwumodowe, czyli zależności pomiędzy dwoma klasami węzłów, np. macierz **AK** zawiera relacje pomiędzy uczestnikami a wiedzą, a macierz **AT** wskazuje uczestników przypisanych do realizacji poszczególnych zadań.

Struktura metasieci jest określana tak, aby pokazać prawie każdy wymiar organizacji przedsięwzięcia, wykorzystując wiele klas węzłów. Ponadto połączenia sieciowe między różnymi węzłami mogą określać zarówno znaczenie, jak i kierunek relacji. Połączenia mogą być jednokierunkowe, takie jak sekwencja zadań lub dwukierunkowe, takie jak wymiana informacji lub koalicje organizacyjne. Mnogość zarówno węzłów sieci, jak i połączeń ukazuje złożoność analizy i sprawia, że potencjał metasieci znacznie przewyższa możliwości konwencjonalnej analizy sieci organizacyjnej (Li, Lu, Li, Ma 2015).

Przykładową wizualizację metasieci przedsięwzięcia budowlanego z oznaczeniem relacji przedstawia rysunek 19.



Rys. 19. Abstrakcja metasieci przedsięwzięcia budowlanego, przedstawiająca sześć rodzajów sieci, które są istotnym elementem komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia.

Opracowanie własne

W praktyce budowlanej liczni uczestnicy przedsięwzięcia i interesariusze często wchodzi z sobą w interakcję, aby realizować wspólny cel przedsięwzięcia, ukazując złożone relacje sieciowe. Warto zwrócić uwagę, że systematyczne pojawianie się nowej wiedzy w organizacji, dodatkowych uczestników (ludzi i organizacji) i ich umiejętności technicznych jest powszechne w procesie budowlanym i wymaga dynamicznej analizy przedsięwzięcia. Wykorzystanie do tego celu metasieci jest zatem zasadne w badaniu komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym.

5.2. Miary strukturalne modelu

W literaturze przedmiotu zostało opracowanych wiele miar strukturalnych, które dostarczają zróżnicowane informacje o modelowanym systemie, jakim jest przedsięwzięcie budowlane. Miary takie opracowano zarówno dla sieci jednomodowych (Wasserman, Faust 1994), jak i wielomodowych DNA (Reminga, Carley 2003). Części tych miar można wykorzystać w kontekście analizy efektywności komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym.

Analizę strukturalną metasieci przedsięwzięcia budowlanego (reprezentowaną przez metamacierz w tabeli 4) oparto na wybranych charakterystycznych miarach strukturalnych sieci wielomodowych (Reminga, Carley 2003). W ramach rozprawy uwzględniono następujące miary na poziomie sieci i na poziomie węzła:

- stopień (ang. *degree*),
- wyłączność (ang. *exclusivity*),
- redundancja (ang. *redundancy*),
- dostęp (ang. *access*),
- obciążenie (ang. *load*),
- kongruencja/zgodność (ang. *congruence*),
- wydajność (ang. *performance*),
- współpraca (ang. *negotiation*),
- obciążenie pracą (ang. *workload*),
- zgodność komunikacyjna (ang. *communication congruence*).

Stopień (ang. *degree*) jest miarą prezentującą liczbę połączeń pojedynczego uczestnika z wiedzą (Freeman 1979; Wasserman, Faust 1994; Borgatti, Everett 1997). Wartość stopnia mieści się w przedziale 0 do 1. W przypadku sieci **AK** znormalizowany

stopień wiersza \mathbf{d} dla uczestnika i ma następującą postać (Borgatti, Everett 1997; Reminga, Carley 2003):

$$\mathbf{d}_i = \frac{\sum_{j=1}^{|\mathbf{K}|} \mathbf{AK}(i,j)}{|\mathbf{K}|} \quad (6)$$

gdzie:

$\mathbf{AK}(i,j)$ – macierz uczestników dysponujących wiedzą, pozycja w i -tym wierszu i j -tej kolumnie macierzy,

$|\mathbf{K}|$ – liczba rodzajów wiedzy.

Analiza sieci pod kątem **wyłączności (ang. *exclusivity*)** pozwala na ustalenie, kto w sieci wie coś, czego nie wie nikt inny. Im wyższa wartość miary, tym dany uczestnik ma dostęp do większej ilości specjalistycznej wiedzy. Indeks wyłączności wiedzy \mathbf{x} dla uczestnika i jest oznaczany następująco (Reminga, Carley 2003; Ashworth, Carley 2006):

$$\mathbf{x}_i = \sum_{j=1}^{|\mathbf{K}|} [\mathbf{AK}(i,j) \cdot \exp(1 - \sum_i^{|\mathbf{A}|} \mathbf{AK}(i,j))] \quad (7)$$

gdzie:

$\mathbf{AK}(i,j)$ – macierz uczestników dysponujących wiedzą, pozycja w i -tym wierszu i j -tej kolumnie macierzy,

$|\mathbf{K}|$ – liczba rodzajów wiedzy,

$|\mathbf{A}|$ – liczba uczestników.

Nadmiarowość (ang. *redundancy*) pozwala ocenić powszechność danej wiedzy. Nadmiarowość jest miarą na poziomie sieci. Miara ta zwraca średnią liczbę nadmiarowych uczestników posiadających tę samą wiedzę. Dla każdej kolumny j w macierzy \mathbf{AK} obliczamy (Carley 2002c; Reminga, Carley 2003):

$$d_j = \max[0, \sum_i^{|\mathbf{A}|} \mathbf{AK}(i,j) - 1] \quad (8)$$

Redundancja wiedzy \mathbf{r} wynosi zatem:

$$\mathbf{r} = \frac{\sum_{j=1}^n d_j}{|\mathbf{K}|} \quad (9)$$

z:

$$\mathbf{r}_{max} = (|\mathbf{A}| - 1) \quad (10)$$

gdzie:

$\mathbf{AK}(i, j)$ – macierz uczestników dysponujących wiedzą, pozycja w i -tym wierszu i j -tej kolumnie macierzy,

$|K|$ – liczba rodzajów wiedzy,

$|A|$ – liczba uczestników.

Indeks **dostępu a** (*ang. access*) identyfikuje połączenia do specjalistycznej wiedzy. Indeks dostępu a do wiedzy w pierwszej kolejności identyfikuje uczestników, którzy mają wyłączne połączenia do specjalistycznej wiedzy. Jeśli taki uczestnik jest dodatkowo połączony z innym uczestnikiem sieci, wówczas obaj mają do niej dostęp. Dla każdego uczestnika obliczany jest zestaw wyłączonej wiedzy, w przypadku gdy dany uczestnik jest połączony z innym uczestnikiem (Reminga, Carley 2003; Ashworth, Carley 2006):

$$K_i = \{k | \mathbf{AK}(i, k) \wedge (\sum_i^{|A|} \mathbf{AK}(i, k) = 1) \wedge (\sum_j^{|A|} \mathbf{AA}^{rz}(i, j) = 1)\} \quad (11)$$

gdzie:

$\mathbf{AK}(i, k)$ – macierz uczestników dysponujących wiedzą,

$\mathbf{AA}^{rz}(i, j)$ – macierz komunikacji pomiędzy uczestnikami,

$|A|$ – liczba uczestników.

Dla uczestnika i a jest binarne i oznaczane jako:

$$a_i = ((K_i \neq \emptyset) \vee (\exists j | K_j \neq \emptyset \wedge \mathbf{AA}^{rz}(j, i) = 1)) \quad (12)$$

Metasieciową miarą **obciążenia** (*ang. load*) jest złożoność. Wartość tej miary mieści się w przedziale 0 do 1. Określa ona gęstość metasieci, która powstaje w wyniku połączenia wszystkich dostępnych typów sieci (Wasserman, Faust 1994; Reminga, Carley 2003):

$$c = \frac{\text{card}\{\forall i, j \in \mathbf{AA}^{rz} | i \neq j \wedge \mathbf{AA}^{rz}(i, j) > 0\} + \text{card}\{\forall i \in A \wedge \forall t \in T | \mathbf{AT}(i, t) > 0\} + \text{card}\{\forall i \in A \wedge \forall k \in K | \mathbf{AK}(i, k) > 0\}}{|A|(|A| - 1) + |\mathbf{AT}| + |\mathbf{AK}|}$$

(13)

gdzie:

\mathbf{AA}^{rz} – macierz komunikacji pomiędzy uczestnikami,

\mathbf{AT} – macierz uczestników przypisanych do zadań,

\mathbf{AK} – macierz uczestników dysponujących wiedzą,

$|\mathbf{AT}|$ – iloczyn liczby wierszy i kolumn macierzy uczestników przypisanych do zadań,

$|AK|$ – iloczyn liczby wierszy i kolumn macierzy uczestników dysponujących wiedzą,
 A – zbiór uczestników,
 T – zbiór zadań,
 K – zbiór wiedzy,
 $|A|$ – liczba uczestników,
 $card(set)$ – moc zbioru.

Kongruencja/zgodność (Congruence) mierzy podobieństwo między tym, jaką wiedzę posiadają uczestnicy przypisani do realizacji zadań, a tym, jaka wiedza jest wymagana do wykonania zadań. Wartość kongruencji mieści się w przedziale 0 do 1. Idealna zgodność występuje wtedy, gdy uczestnicy posiadają dokładnie taką wiedzę, jaka jest niezbędna do realizacji przypisanych im zadań (Carley 2002c).

Niech KT^{obl} będzie macierzą reprezentującą wiedzę posiadaną przez uczestników przypisanych do realizacji zadań (Carley 2002c; Reminga, Carley 2003):

$$KT^{(obl)} = AK' \cdot AT \quad (14)$$

gdzie:

AT – macierz uczestników przypisanych do zadań,

AK' – macierz transponowana uczestników dysponujących wiedzą,

wówczas spójność wiedzy to odsetek poprawnie przypisanej wiedzy wymaganej do realizacji zadań (Reminga, Carley 2003):

$$c = \frac{card\{(i,j) | ([KT^{(obl)}(i,j) > 0) = (KT(i,j) > 0)\}}{|K| \cdot |T|} \quad (15)$$

gdzie:

$KT(i,j)$ – macierz wiedzy przypisanej do zadań, pozycja w i -tym wierszu i j -tej kolumnie macierzy,

$|K|$ – liczba rodzajów wiedzy,

$|T|$ – liczba zadań,

$card(set)$ – moc zbioru.

Wydajność (ang. performance) oparta na wiedzy c pozwala obliczyć odsetek zadań, które mogą zostać wykonane przez przydzielonych do nich uczestników, wyłącznie na podstawie tego, czy uczestnicy posiadają wiedzę niezbędną do wykonania tych zadań (Carley 2002c). Wartość wydajności mieści się w przedziale 0 do 1.

Najpierw wyszukujemy zadania, których nie można wykonać, ponieważ uczestnikom przypisanym do tych zadań brakuje niezbędnej wiedzy (Reminga, Carley 2003):

$$\mathbf{N}_K = (\mathbf{AT}' \cdot \mathbf{AK}) - \mathbf{KT}' \quad (16)$$

gdzie:

\mathbf{AT}' – macierz transponowana uczestników przypisanych do zadań,

\mathbf{AK} – macierz uczestników dysponujących wiedzą,

\mathbf{KT}' – macierz transponowana wiedzy przypisanej do zadań.

Następnie obliczamy zbiór zadań, które nie mogą zostać wykonane:

$$S = \{t | t \in T \wedge \exists k: \mathbf{N}_K(t, k) < 0\} \quad (17)$$

gdzie:

T – zbiór zadań.

Wydajność oparta na wiedzy to procent zadań, które mogą zostać zrealizowane:

$$c = \frac{|T| - |S|}{|T|} \quad (18)$$

gdzie:

$|S|$ – liczba zadań, których nie można zrealizować ze względu na brak uczestników z wymaganą wiedzą, przypisanych do realizacji zadań,

$|T|$ – liczba zadań.

Współpraca (ang. *negotiation*) to stopień n , w jakim uczestnicy muszą ze sobą współpracować, ponieważ brakuje im wiedzy, aby wykonać przydzielone im zadania. Miara współpracy pozwala obliczyć odsetek zadań, w których brakuje co najmniej jednego rodzaju wiedzy (Carley 2002c) wymaganej do ich realizacji. Wartość negocjacji mieści się w przedziale 0 do 1. Najpierw obliczana jest macierz kongruencji \mathbf{TK} o wzorze:

$$\mathbf{C}_N = (\mathbf{AT}' \cdot \mathbf{AK}) - \mathbf{KT}' \quad (19)$$

gdzie:

\mathbf{AT}' – macierz transponowana uczestników przypisanych do zadań,

\mathbf{AK} – macierz uczestników dysponujących wiedzą,

\mathbf{KT}' – macierz transponowana wiedzy przypisanej do zadań.

$$n = \frac{\text{card}\{t | t \in T \wedge \exists k: \mathbf{C}_N(t, k) < 0\}}{|T|} \quad (20)$$

gdzie:

T – zbiór zadań,

$|T|$ – liczba zadań,

$C_N(t, k)$ – pozycja w t -tym wierszu i k -tej kolumnie macierzy kongruencji będącej wynikiem obliczeń,

$card(set)$ – moc zbioru.

Miary strukturalne **obciążenia pracą** (ang. *workload*) określają wiedzę wykorzystywaną przez uczestnika do wykonywania zadań, do których jest przypisany (Carley 2002c). Potencjalne obciążenie pracą związaną z wiedzą określa potencjalną liczbę zadań, jaką mogą realizować uczestnicy posiadający odpowiednią wiedzę (Reminga, Carley 2003):

$$w_i = \frac{\sum_j^{|T|} (AK \cdot KT)(i, j)}{\sum KT} \quad (21)$$

gdzie:

AK – macierz uczestników dysponujących wiedzą,

KT – macierz wiedzy przypisanej do zadań,

$|T|$ – liczba zadań,

natomiast **rzeczywiste obciążenie pracą** związane z wiedzą uwzględnia rzeczywistą sieć reprezentowaną przez macierz AT (Reminga, Carley 2003):

$$w_i = \frac{\sum_i^{|A|} (AK \cdot KT \cdot AT')(i, i)}{\sum KT} \quad (22)$$

gdzie:

AK – macierz uczestników dysponujących wiedzą,

KT – macierz wiedzy przypisanej do zadań,

AT' – macierz transponowana uczestników przypisanych do zadań,

$|A|$ – liczba uczestników.

Obie miary przyjmują wartość w przedziale od 0 do 1.

W kontekście analizy wymaganej komunikacji w przedsiębiorstwie budowlanym ważną miarą strukturalną metasieci jako modelu tego przedsiębiorstwa jest **zgodność komunikacyjna** (ang. *Communication Congruence*), która określa, w jakim stopniu uczestnicy komunikują się wtedy i tylko wtedy, gdy jest to potrzebne do wykonania

zadań. Zakładamy, że uczestnicy i oraz j muszą się wzajemnie komunikować, jeśli przynajmniej jedna z poniższych sytuacji jest prawdziwa:

- a) jeśli i jest przydzielony do zadania t_1 , a j jest przypisany do zadania t_2 i zadanie t_1 bezpośrednio poprzedza zadanie t_2 (np. przekazanie frontu robót);
- b) jeśli i jest przypisany do zadania t , a j jest również przypisany do zadania t ;
- c) jeżeli i jest przypisany do zadania t , a j nie jest przypisany do tego zadania, a istnieje wiedza k potrzebna do realizacji zadania t , do której uczestnik i nie ma dostępu, ale uczestnik j ją ma (negocjacje w celu uzyskania potrzebnej wiedzy).

Powyższe przypadki są obliczane w następujący sposób (Carley, 2002c):

ad a) macierz \mathbf{H} wymaganej komunikacji pomiędzy uczestnikami, którzy są przypisani do realizacji zadań występujących w sekwencji bezpośredniego poprzedzania:

$$\mathbf{H} = \mathbf{AT} \cdot \mathbf{TT} \cdot \mathbf{AT}' \quad (23)$$

gdzie:

\mathbf{AT} – macierz uczestników przypisanych do zadań,

\mathbf{TT} – macierz jednomodowa, kwadratowa, połączenia między zadaniami,

\mathbf{AT}' – macierz transponowana połączenia uczestników z zadaniami.

Problemy w komunikacji pomiędzy uczestnikami przypisanymi do realizacji zadań występujących w sekwencji bezpośredniego poprzedzania może spowodować opóźnienie w terminie rozpoczęcia zadania będącego następnikiem. Na przykład uczestnik realizujący zadanie będące poprzednikiem nie poinformuje na czas o zakończeniu swojego zakresu i przekazaniu frontu robót uczestnika realizującego zadanie kolejne, zgodnie z harmonogramem prac, realizowane na tej samej „działce” roboczej.

ad b) macierz \mathbf{C} wymaganej komunikacji pomiędzy uczestnikami, którzy przypisani są do realizacji tych samych zadań:

$$\mathbf{C} = \mathbf{AT} \cdot \mathbf{AT}' \quad (24)$$

gdzie:

\mathbf{AT} – macierz uczestników przypisanych do zadań,

\mathbf{AT}' – macierz transponowana uczestników przypisanych do zadań.

Problemy w komunikacji pomiędzy uczestnikami realizującymi to samo zadanie mogą w praktyce skutkować przedłużeniem czasu realizacji zadania, a w konsekwencji (jeśli zadanie znajduje się na ścieżce krytycznej) wydłużeniem czasu realizacji całego przedsięwzięcia.

ad c) macierz \mathbf{N} wymaganej komunikacji pomiędzy uczestnikami, którzy powinni przekazywać sobie wiedzę wymaganą do realizacji poszczególnych zadań:

$$\mathbf{N} = \mathbf{AT} \cdot \mathbf{Z}_K \cdot \mathbf{AK}' \text{ gdzie } \mathbf{Z}_K(t, k) = \begin{cases} 1, \text{ jeśli } [\mathbf{AT}' \cdot \mathbf{AK} - \mathbf{KT}'], (t, k) < 0 \\ 0, \text{ w przeciwnym razie} \end{cases} \quad (25)$$

gdzie:

\mathbf{AT} – macierz uczestników przypisanych do zadań,

\mathbf{AK}' – macierz transponowana uczestników dysponujących wiedzą.

Macierz \mathbf{Q} będzie więc zbiorczą, wymaganą macierzą wzajemnej komunikacji pomiędzy uczestnikami:

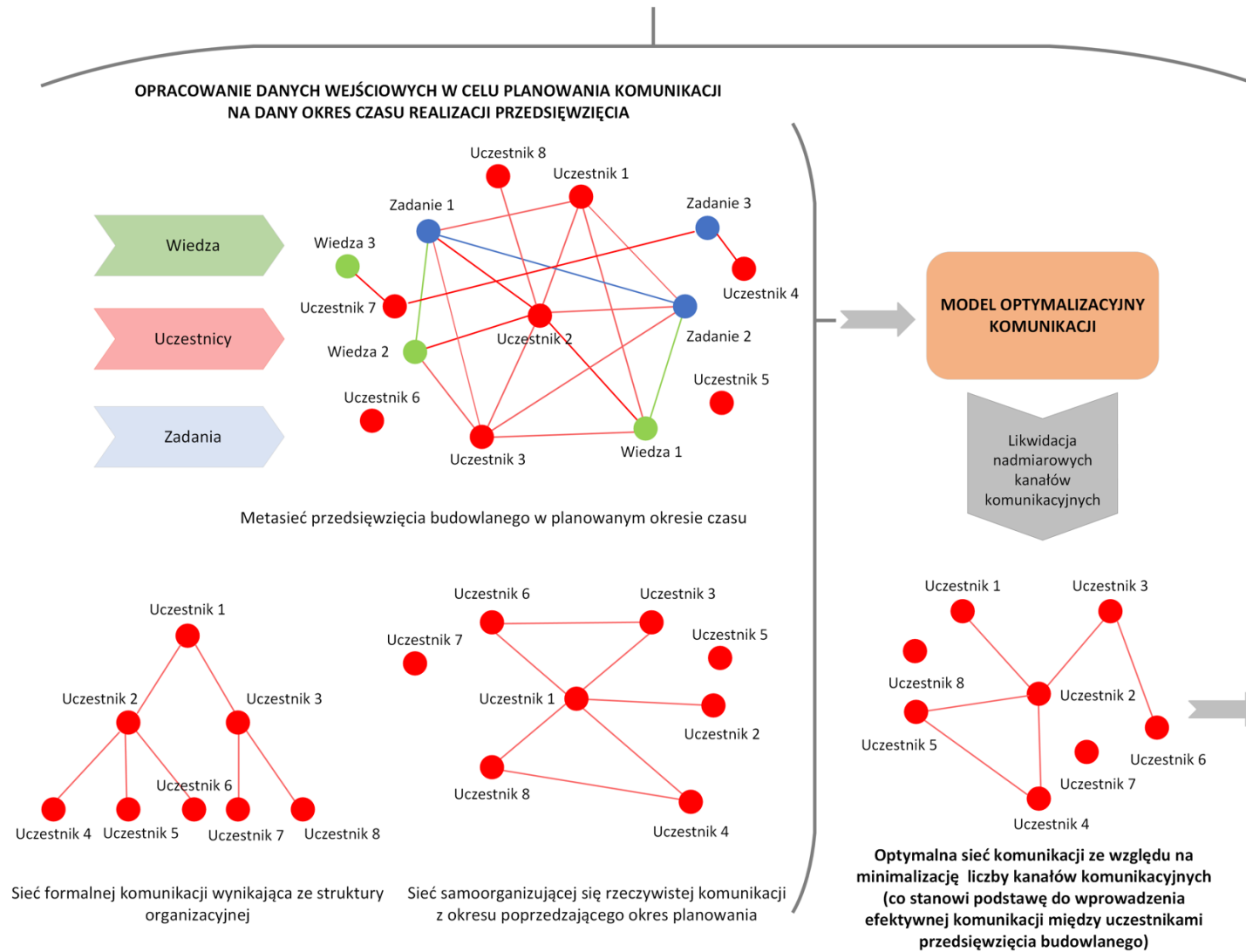
$$\mathbf{Q} = \begin{cases} 1, \text{ jeśli } [(\mathbf{H} + \mathbf{C} + \mathbf{N}) + (\mathbf{H} + \mathbf{C} + \mathbf{N})'] (i; j) > 0 \\ 0, \text{ w przeciwnym razie} \end{cases} \quad (26)$$

Otrzymana z powyższych wzorów macierz \mathbf{Q} dla danego ustalonego okresu (np. w cyklu miesięcznym) realizacji przedsięwzięcia zwykle wymaga często korekty ze względu na nadmiarowość określonej w niej komunikacji. Dodatkowo macierz tę należy uzupełnić o formalną komunikację, wynikającą z odgórnie narzuconej struktury organizacyjnej danego przedsięwzięcia. Oczekiwanym rezultatem przedmiotowej analizy będzie zatem likwidacja nadmiarowości komunikacji i optymalizacja struktury kanałów komunikacyjnych pomiędzy uczestnikami, minimalizująca koszty tej komunikacji. W ramach optymalizacji preferowane będą już istniejące kanały komunikacyjne z poprzedniego okresu, np. w cyklu miesięcznym realizacji przedsięwzięcia. Opracowana w pracy doktorskiej metoda planowania i monitorowania likwiduje wyżej wymienione ograniczenia.

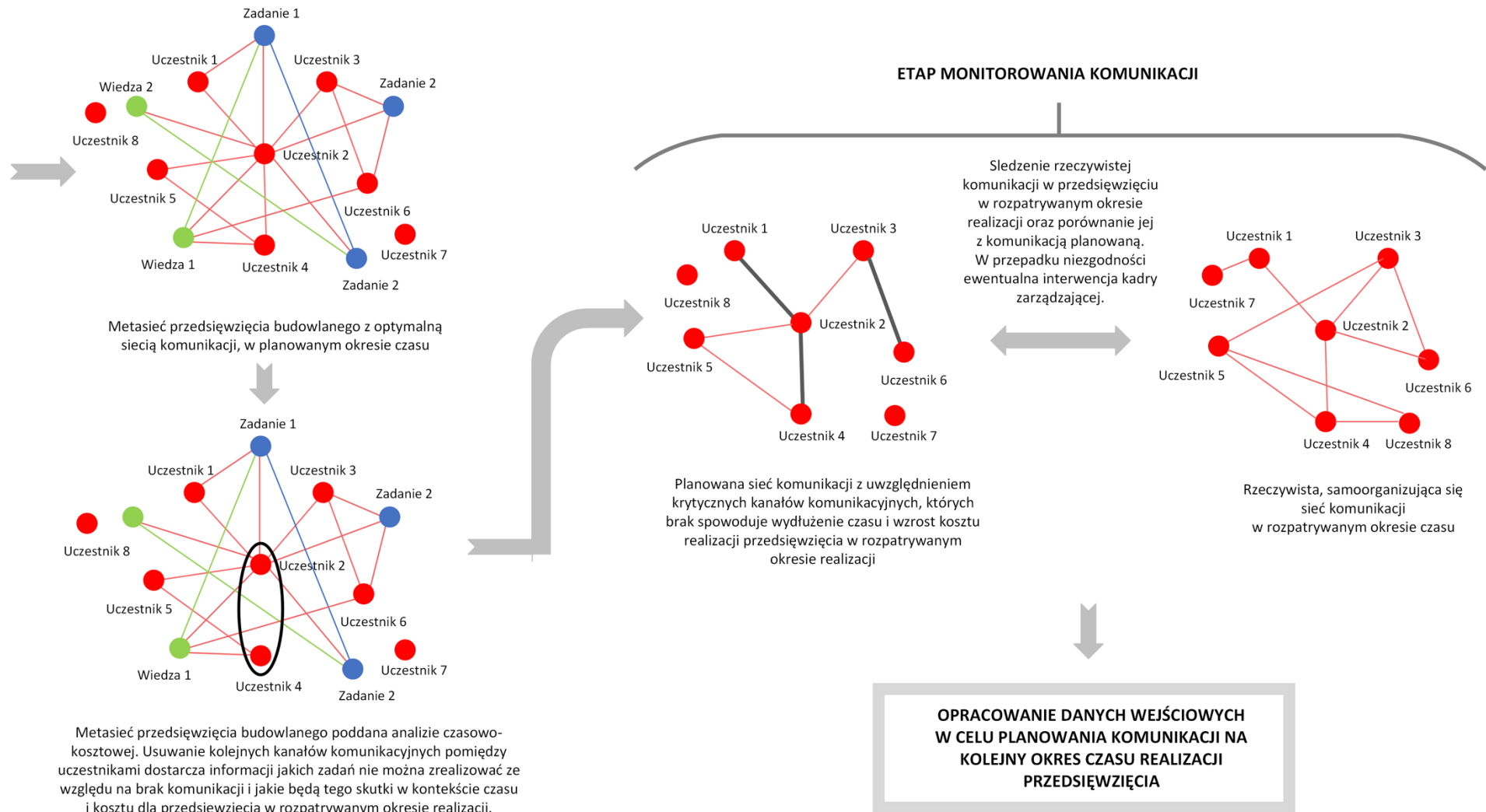
5.3. Idea planowania i monitorowania komunikacji

Jak przedstawiono w przeglądzie literatury i badaniach ankietowych oraz wspomniano w podrozdziale 5.2, na efektywne zarządzanie komunikacją w przedsięwzięciu budowlanym składa się planowanie i monitorowanie komunikacji pomiędzy uczestnikami tego przedsięwzięcia. Rysunek 20 przedstawia zaproponowany przez autorkę schemat ideowy planowania i monitorowania komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym.

ETAP PLANOWANIA KOMUNIKACJI



Rys. 20. Schemat ideowy planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego w ramach zaproponowanego podejścia. Opracowanie własne



Rys. 20 cd. Schemat ideowy planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego w ramach zaproponowanego podejścia. Opracowanie własne

5.4. Budowa modelu sieciowego komunikacji

Zaproponowane metasieciowe podejście do planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego w znacznym stopniu odpowiada potrzebom wskazanym w studium literatury oraz zdefiniowanym przez praktyków podczas badań ankietowych.

Z przeprowadzonych badań literaturowych wynika, że na wiele aspektów przedsięwzięcia budowlanego wpływ ma komunikacja. Najszerszej poruszany jest jednak wpływ komunikacji na czas i koszty, na analizie których skupiono się podczas opracowania podejścia.

Opracowanie metasieciowego planu komunikacji wymaga zdefiniowania modelu optymalizującego, który likwiduje jej nadmiarowość w przedsięwzięciu. Otrzymane rozwiązanie będzie optymalne pod względem minimalizacji kanałów komunikacyjnych w metasieci, co jest jednoznaczne z minimalizacją kosztów tej komunikacji.

Opracowany model optymalizacyjny uwzględnia dwie podstawowe formy komunikacji. Uwzględniona została forma komunikacji formalnej, uzupełniona o tę rzeczywistą, samoorganizującą się sieć komunikacji, ponieważ – jak omówiono to w rozdziale 2.8 – komunikacja formalna i samoorganizująca się są równie istotne i wzajemnie się uzupełniają.

W zaproponowanym modelu optymalizacyjnym uwzględniono trzy podstawowe aspekty wymaganej komunikacji w ramach realizacji przedsięwzięcia budowlanego:

- komunikację ze względu na wspólną realizację zadań,
- komunikację ze względu na realizację zadań w sekwencji bezpośredniego poprzedzania,
- komunikację ze względu na potrzebę dzielenia się wiedzą niezbędną do realizacji zadań.

Dodatkowym elementem jest wprowadzenie ograniczenia pozwalającego uniknąć tak zwanego przeciążenia informacyjnego. Jak wskazują badania (Trach, Lendo-Siwicka 2018), kierownik budowy ma ograniczoną energię, wiedzę i kwalifikację, dlatego powinien koordynować pracę znacznie ograniczonej liczby podległych mu pracowników. Powołując się na wcześniejsze badania, autorzy (Trach, Lendo-Siwicka 2018) zauważyli bowiem, że arytmetyczne zwiększenie liczby podległych pracowników prowadzi do geometrycznego wzrostu liczby wzajemnych relacji. Badania dowodzą, że na poziomie kierownictwa liczba bezpośrednio podległych osób (a więc łączy komunikacyjnych)

powinna być stosunkowo mniejsza w porównaniu do sytuacji na niższych szczeblach zarządzania. W zaproponowanym modelu możliwe jest zatem zdefiniowanie granicznej liczby osób, z którymi dany uczestnik przedsięwzięcia może się komunikować, np. w celu zdobycia wymaganej wiedzy do realizacji zadań. Ograniczenie to pozwala zatem na regulację przepływu informacji w sieci.

5.5. Model optymalizacyjny komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego

Poniżej zaprezentowano tok postępowania na potrzeby opracowania modelu matematycznego optymalizacji w ramach programowania liniowego całkowitoliczbowego w ujęciu binarnym.

Krok 1. Zdefiniowanie metasieci modelowanego przedsięwzięcia, której struktura reprezentowana jest przez następujące macierze:

$AA^{(rz)}$ – macierz rzeczywistej komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia z okresu poprzedzającego planowany okres (jeśli jest to kolejny okres realizacji),

AK – macierz uczestników dysponujących daną wiedzą,

AT – macierz uczestników przypisanych do danych zadań,

KT – macierz wiedzy wymaganej do realizacji zadań,

TT – macierz relacji pomiędzy zadaniami (sekwencja zadań),

$AA^{(f)}$ – macierz reprezentująca komunikację ze względu na formalną strukturę organizacyjną przedsięwzięcia.

Krok 2. Wyznaczenie macierzy Z (wymaganej wiedzy do realizacji poszczególnych zadań) ze wzoru:

$$Z(t, k) = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } [AT' \cdot AK - KT'], (t, k) < 0 \\ 0, & \text{w przeciwnym razie} \end{cases} \quad (27)$$

Krok 3. Warunek na wzajemne udostępnienia pomiędzy uczestnikami potrzebnej wiedzy do realizacji poszczególnych zadań.

Wykonanie kolejnych p -tych iteracji w liczbie równej liczbie jedynek w macierzy Z .

- założenie macierzy Z_p , składającej się jedynie z kolejnej p -tej jedynki macierzy Z ,

- wyznaczenie macierzy \mathbf{N}_p (komunikacji ze względu na potrzebną wiedzę do realizacji zadania) ze wzoru: $\mathbf{N}_p = \mathbf{A}\mathbf{T} \cdot \mathbf{Z}_p \cdot \mathbf{A}\mathbf{K}'$.

Dla p -tej iteracji wyznaczane jest ograniczenie, mówiące o tym, że co najmniej jeden uczestnik ze zbioru O musi się komunikować z co najmniej jednym uczestnikiem ze zbioru L w celu przekazania potrzebnej wiedzy do realizacji poszczególnych zadań, zgodnie ze wzorem 28:

$$\sum_{o \in O, l \in L} a_{ol} \geq 1 \quad (28)$$

gdzie:

O – zbiór numerów wierszy macierzy \mathbf{N}_p zawierających wartości niezerowe,

L – zbiór numerów kolumn macierzy \mathbf{N}_p zawierających wartości niezerowe.

Krok 4. Warunek wymaganej komunikacji pomiędzy uczestnikami ze względu na realizację tych samych zadań.

Wykonanie kolejnych r -tych iteracji w liczbie równej liczbie kolumn w macierzy $\mathbf{A}\mathbf{T}$.

- jeżeli suma w r -tej kolumnie macierzy $\mathbf{A}\mathbf{T} = 1$ (jeden uczestnik przypisany do zadania), to należy przejść do kolejnego kroku iteracji,
- jeżeli suma w r -tej kolumnie macierzy $\mathbf{A}\mathbf{T} > 1$, to należy utworzyć macierz $\mathbf{A}\mathbf{T}_r$ składającą się jedynie z tej kolumny,
- wyznaczenie macierzy $\mathbf{C}_r = \mathbf{A}\mathbf{T}_r \cdot \mathbf{A}\mathbf{T}_r'$ (komunikacji ze względu na współpracę w ramach realizacji tych samych zadań).

Dla r -tej iteracji wyznaczane jest więc ograniczenie, że uczestnicy przypisani do tego samego zadania powinni się ze sobą komunikować, zgodnie ze wzorem 29:

$$a_{ij} \geq c_{rij}, \text{ dla } i, j \in m \quad (29)$$

Krok 5. Warunek na wymaganą komunikację pomiędzy uczestnikami ze względu na realizację zadań w sekwencji bezpośredniego poprzedzania.

Wykonanie kolejnych s -tych iteracji w liczbie równej liczbie jedynek w macierzy $\mathbf{T}\mathbf{T}$.

- założenie macierzy $\mathbf{T}\mathbf{T}_s$, składającej się jedynie z kolejnej s -tej jedynki macierzy $\mathbf{T}\mathbf{T}$,

- wyznaczenie macierzy $\mathbf{H}_s = \mathbf{A}\mathbf{T} \cdot \mathbf{T}\mathbf{T}_s \cdot \mathbf{A}\mathbf{T}'$ (komunikacji ze względu na sekwencję zadań).

Dla s -tej iteracji wyznaczone jest ograniczenie, mówiące o tym, że co najmniej jeden uczestnik ze zbioru B musi się komunikować z co najmniej jednym uczestnikiem ze zbioru E (co najmniej jeden uczestnik realizujący zadanie poprzedzające musi komunikować się z co najmniej jednym uczestnikiem realizującym zadanie następane), zgodnie ze wzorem 30:

$$\sum_{b \in B, e \in E} a_{be} \geq 1 \quad (30)$$

gdzie:

B – zbiór numerów wierszy macierzy \mathbf{H}_s zawierających wartości niezerowe,

E – zbiór numerów kolumn macierzy \mathbf{H}_s zawierających wartości niezerowe.

Krok 6. Formułowanie kolejnych warunków ograniczających:

- aby zachowana została komunikacja ze względu na formalną strukturę organizacyjną przedsięwzięcia, według wzoru 31:

$$a_{ij} \geq a_{ij}^{(f)}, \text{ dla } i, j \in m \quad (31)$$

- aby komunikacja między uczestnikami była dwukierunkowa, według wzoru 32:

$$a_{ij} = a_{ji}, \text{ dla } i, j \in m \quad (32)$$

Krok 7. Formułowanie następnego warunku ograniczającego, aby komunikacja w przypadku wybranych uczestników była ograniczona do konkretnej liczby kanałów komunikacyjnych, wskazanej przez zarządzającego przepływem informacji (np. do kontaktu wybranego uczestnika z pięcioma innymi, konkretnymi uczestnikami ze względu na ograniczenie przeciążenia informacyjnego), zgodnie z przedstawionymi wzorami 33 i 34. Przy czym warunki wymaganej komunikacji muszą być wcześniej spełnione.

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} \leq d^+(j) \quad (33)$$

gdzie:

$d^+(j)$ – liczba wejściowych kanałów komunikacji,

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} \leq d^-(i) \quad (34)$$

gdzie:

$d^-(i)$ – liczba wyjściowych kanałów komunikacji.

Krok 8. Ograniczenie dotyczące wartości zmiennej decyzyjnej:

$$a_{ij} = bin \quad (35)$$

Krok 9. Sformułowanie funkcji celu dla wyznaczenia optymalnej macierzy AA (macierz planowanej, wymaganej komunikacji) na zakładany okres w cyklu realizacji przedsięwzięcia, zgodnie ze wzorem 36:

$$\sum_{i,j \in m} a_{ij} - \rho \sum_{i,j \in m} a_{ij} \cdot a_{ij}^{(rz)} \rightarrow \min \quad (36)$$

- pierwszy składnik odpowiada za minimalizację liczby kanałów oznaczających komunikację między uczestnikami,
- drugi składnik odpowiada za utrzymanie dotychczasowej komunikacji między uczestnikami (z poprzedniego okresu),

gdzie:

a_{ij} – elementy macierzy planowanej komunikacji (zmienna decyzyjna),

$a_{ij}^{(rz)}$ – element macierzy rzeczywistej komunikacji z poprzedniego okresu realizacji przedsięwzięcia.

ρ – dostatecznie mała liczba (Sobotka, Jaśkowski, Czarnigowska, Pawluś, Wałach 2014), przyjęto wartość 0,01.

Opracowany model optymalizacyjny komunikacji pomiędzy uczestnikami przyjął następującą postać:

Funkcja celu:

$$\sum_{i,j \in m} a_{ij} - \rho \sum_{i,j \in m} a_{ij} \cdot a_{ij}^{(rz)} \rightarrow \min \quad (36)$$

Warunki ograniczające:

$$\sum_{o \in O, l \in L} a_{ol} \geq 1 \quad (28)$$

$$a_{ij} \geq c_{rij}, \text{ dla } i, j \in m \quad (29)$$

$$\sum_{b \in B, e \in E} a_{be} \geq 1 \quad (30)$$

$$a_{ij} \geq a_{ij}^{(f)}, \text{ dla } i, j \in m \quad (31)$$

$$a_{ij} = a_{ji}, \text{ dla } i, j \in m \quad (32)$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} \leq d^+(j) \quad (33)$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} \leq d^-(i) \quad (34)$$

$$a_{ij} = bin \quad (35)$$

5.6. Analiza wpływu komunikacji na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia budowlanego

Na podstawie uzyskanych wyników w ramach optymalizacji w kolejnym etapie dokonywana jest analiza czasowo-kosztowa, która umożliwi określenie kluczowych kanałów komunikacyjnych w kontekście czasu i kosztu realizacji przedsięwzięcia. W ramach planowania i monitorowania (przede wszystkim) komunikacji w przedsięwzięciu należy w pierwszej kolejności zwrócić uwagę właśnie na te kluczowe kanały komunikacyjne, których brak spowoduje wydłużenie czasu i wzrost kosztu realizacji przedsięwzięcia.

W celu uzyskania informacji, jakie zadania w harmonogramie robót nie mogą zostać zrealizowane ze względu na brak komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego i jakie będą tego skutki w kontekście czasu i kosztu przedsięwzięcia, zaproponowano analizę wpływu usunięcia kolejnych łączy pomiędzy poszczególnymi uczestnikami w wyznaczonej optymalnej sieci komunikacji **AA**. Analiza zakłada dostępność wszystkich innych zasobów niezbędnych do realizacji zadań (np. materiały, sprzęt, siła robocza) i uwzględnia tylko wpływ braku komunikacji w kontekście wydłużenia czasu i wzrostu kosztu realizacji przedsięwzięcia.

Poniżej przedstawiono tok postępowania zaproponowanej analizy:

1. Wykorzystując uzyskaną optymalną macierz wymaganej komunikacji **AA**, wykonujemy kolejne w -te iteracje w liczbie równej liczbie jedynek w macierzy **AA**.
2. Dla każdej macierzy **AA_w** (w której w -ta jedynka została zastąpiona zerem) należy wykonać poniższe kroki, umożliwiające wykrycie opóźnień w realizacji zadań z powodu braku odpowiedniej komunikacji.

2.1. Komunikacja ze względu na potrzebną wiedzę do realizacji zadań:

- a. Wyznaczenie analogicznie jak w pierwszej części modelu macierzy **Z** (wymaganej wiedzy do realizacji poszczególnych zadań) ze wzoru:

$$\mathbf{Z}(t, k) = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } [\mathbf{AT}' \cdot \mathbf{AK} - \mathbf{KT}'], (t, k) < 0 \\ 0, & \text{w przeciwnym razie} \end{cases} \quad (36)$$

- b. Wykonanie kolejnych p -tych iteracji w liczbie równej liczbie jedynek w macierzy **Z**.

- wskazanie identyfikatora zadań, które będą uwzględniane w kolejnych iteracjach (np. iteracja dla zadania t_1 ze względu na wiedzę k_1 $\mathbf{N}_p(t_1 k_1)$),
- określenie macierzy \mathbf{Z}_p , składającej się jedynie z kolejnej p -tej jedynki macierzy \mathbf{Z} ,
- wyznaczenie macierzy \mathbf{N}_p (komunikacji ze względu na potrzebną wiedzę do realizacji zadania) ze wzoru:

$$\mathbf{N}_p = \mathbf{AT} \cdot \mathbf{Z}_p \cdot \mathbf{AK}' \quad (37)$$

c. Porównanie macierzy \mathbf{AA}_w z każdą kolejną macierzą \mathbf{N}_p uzyskaną w kolejnych iteracjach:

- jeżeli element macierzy (kanały, które w danej iteracji zostało usunięte w macierzy optymalnej) $\mathbf{a}_{wij} = 0$ w macierzy \mathbf{AA}_w i element $\mathbf{n}_{pij} = 0$ w macierzy \mathbf{N}_p , to należy przejść do kolejnego kroku iteracji,
- jeżeli element $\mathbf{a}_{wij} = 0$ w macierzy \mathbf{AA}_w , a element $\mathbf{n}_{pij} = 1$ w macierzy \mathbf{N}_p , to należy porównać pozostałe elementy macierzy \mathbf{N}_p z elementami macierzy \mathbf{AA}_w :
 - jeżeli istnieje choć jedna para elementów dla macierzy \mathbf{AA}_w i macierzy \mathbf{N}_p , czyli element $\mathbf{a}_{wol} = 1$ i element $\mathbf{n}_{pol} = 1$, to należy przejść do kolejnego kroku iteracji,
 - w przeciwnym razie należy wskazać ten element w końcowej macierzy ze względu na potrzebną wiedzę do realizacji zadań $\mathbf{AA}^{(N)}$ oraz przywołać i zapamiętać zadanie z odpowiadającą mu wymaganą wiedzą, które zostało określone we wskazanej iteracji dotyczącej powstania macierzy \mathbf{N}_p ; zadaniu temu należy przypisać wartość opóźnienia i uwzględnić wzrost kosztów z powodu perturbacji spowodowanych brakiem odpowiedniej komunikacji na potrzeby zdobycia odpowiedniej wiedzy do realizacji tego zadania, zgodnie z wcześniej przygotowaną macierzą wartości opóźnień $\mathbf{T}\Omega$ oraz wzrostu kosztów $\mathbf{T}\Theta$ dla poszczególnych zadań.

2.2. Komunikacja ze względu na współpracę w ramach zadania:

a. Wyznaczenie macierzy \mathbf{C} (komunikacji ze względu na współpracę w ramach zadań) ze wzoru:

$$\mathbf{C} = \mathbf{AT} \cdot \mathbf{AT}' \quad (38)$$

b. Wykonanie kolejnych r -tych iteracji w liczbie równej liczbie kolumn (zadań) macierzy \mathbf{AT} :

- wskazanie identyfikatorów zadań, które będą uwzględniane w kolejnych iteracjach (np. iteracja dla zadania t_1 ($\mathbf{C}_r(t_1)$)),
- wyznaczenie macierzy \mathbf{C}_r (komunikacji ze względu na współpracę w ramach realizacji tych samych zadań) ze wzoru:

$$\mathbf{C}_r = \mathbf{A}\mathbf{T}_r \cdot \mathbf{A}\mathbf{T}_r' \quad (39)$$

gdzie:

$\mathbf{A}\mathbf{T}_r$ – macierz składająca się z kolumny odpowiadającej rozpatrywanemu zadaniu.

c. Porównanie macierzy $\mathbf{A}\mathbf{A}_w$ z każdą kolejną macierzą \mathbf{C}_r uzyskaną w kolejnych iteracjach:

- jeżeli element macierzy (kanały, które w danej iteracji zostało usunięte z macierzy optymalnej) $\mathbf{a}_{wij} = 0$ w macierzy $\mathbf{A}\mathbf{A}_w$ i element $\mathbf{c}_{rij} = 0$ w macierzy \mathbf{C}_r , to należy przejść do kolejnego kroku iteracji,
- jeżeli element $\mathbf{a}_{wij} = 0$ w macierzy $\mathbf{A}\mathbf{A}_w$, a element $\mathbf{c}_{rij} = 1$ w macierzy \mathbf{C}_r , to porównaj pozostałe elementy macierzy \mathbf{C}_r z elementami macierzy $\mathbf{A}\mathbf{A}_w$:
 - jeżeli istnieje choć jedna para elementów dla macierzy $\mathbf{A}\mathbf{A}_w$ i macierzy \mathbf{C}_r , czyli element $\mathbf{a}_{wgt} = 1$ i element $\mathbf{c}_{rgt} = 1$, to przejdź do kolejnego kroku iteracji,
 - w przeciwnym razie należy wskazać ten element w końcowej macierzy ze względu na potrzebną komunikację w ramach wspólnej realizacji zadań $\mathbf{A}\mathbf{A}^{(C)}$ oraz przywołać i zapamiętać zadanie, które zostało określone we wskazanej iteracji dotyczącej powstania macierzy \mathbf{C}_r ; zadaniu temu należy przypisać wartość opóźnienia, uwzględniając wzrost kosztów z powodu braku komunikacji potrzebnej do wspólnej realizacji tego zadania, zgodnie z wcześniej przygotowaną macierzą z wartości opóźnień $\mathbf{T}\mathbf{\Omega}$ oraz wzrostu kosztów $\mathbf{T}\mathbf{\Theta}$ dla poszczególnych zadań.

2.3. Komunikacja ze względu na sekwencję zadań:

a. Wykonanie kolejnych s -tych iteracji w liczbie równej liczbie jedynek w macierzy $\mathbf{T}\mathbf{T}$:

- wskazanie identyfikatorów zadań, które będą uwzględniane w kolejnych iteracjach (np. iteracja dla zadania t_1 ($\mathbf{H}_s(t_1)$)),
- określenie macierzy $\mathbf{T}\mathbf{T}_s$, składającej się jedynie z kolejnej s -tej jedynki macierzy $\mathbf{T}\mathbf{T}$,

- wyznaczono macierz \mathbf{H}_s (komunikacji ze względu na sekwencję zadań) ze wzoru:

$$\mathbf{H}_s = \mathbf{AT} \cdot \mathbf{TT}_s \cdot \mathbf{AT}' \quad (40)$$

b. Porównanie macierzy \mathbf{AA}_w z każdą kolejną macierzą \mathbf{H}_s uzyskaną w kolejnych iteracjach:

- jeżeli element macierzy (kanały, które w danej iteracji zostało usunięte z macierzy optymalnej) $\mathbf{a}_{wbe} = 0$ w macierzy \mathbf{AA}_w i element $\mathbf{h}_{sbe} = 0$ w macierzy \mathbf{H}_s , to należy przejść do kolejnego kroku iteracji,
- jeżeli element $\mathbf{a}_{wbe} = 0$ w macierzy \mathbf{AA}_w , a element $\mathbf{h}_{sbe} = 1$ w macierzy \mathbf{H}_s , to należy porównać pozostałe elementy macierzy \mathbf{H}_s z elementami macierzy \mathbf{AA}_w :
 - jeżeli istnieje choć jedna para elementów dla macierzy \mathbf{AA}_w i macierzy \mathbf{H}_s , czyli element $\mathbf{a}_{wbe} = 1$ i element $\mathbf{h}_{sbe} = 1$, to należy przejść do kolejnego kroku iteracji,
 - w przeciwnym razie należy wskazać ten element w końcowej macierzy $\mathbf{AA}^{(H)}$ oraz przywołać i zapamiętać zadanie, które zostało określone we wskazanej iteracji dotyczącej powstania macierzy \mathbf{H}_s ; zadaniu temu należy przypisać wartość opóźnienia i uwzględnić koszt z powodu braku komunikacji potrzebnej do realizacji zadań w sekwencji bezpośredniego poprzedzenia, zgodnie z wcześniej przygotowaną macierzą z wartości opóźnień $\mathbf{T}\Omega$ oraz kosztów $\mathbf{T}\Theta$ dla poszczególnych zadań.

3. Po każdym zestawie iteracji dla danego usuniętego kanału komunikacyjnego należy porównać macierze: $\mathbf{AA}^{(N)}$, $\mathbf{AA}^{(C)}$, $\mathbf{AA}^{(H)}$:

- jeżeli $\mathbf{a}_{ij}^{(N)} = 1$ lub $\mathbf{a}_{ij}^{(C)} = 1$, lub $\mathbf{a}_{ij}^{(H)} = 1$, to należy przyjąć maksymalną wartość spośród wartości opóźnienia i uwzględnić wzrost kosztów przypisanych dla danego zadania.

4. Stosując metodę ścieżki krytycznej (CPM), należy wyznaczyć planowane opóźnienie Ψ przedsięwzięcia w danym rozpatrywanym okresie, uwzględniając wyżej wyznaczone opóźnienia w wykonaniu zadań, zgodnie z formułą:

$$\Psi = \Phi - \varepsilon \quad (41)$$

gdzie:

Φ – planowany termin realizacji przedsięwzięcia (z powodu problemów z komunikacją w rozpatrywanym okresie),

ε – planowany termin realizacji przedsięwzięcia (bez wystąpienia problemów z komunikacją w rozpatrywanym okresie).

5. Do wyznaczenia wzrostu planowanych kosztów realizacji przedsięwzięcia z powodu problemów z komunikacją w danym rozpatrywanym okresie należy wykorzystać poniższą formułę:

$$\mu = \sum_{t=1}^T v_t \Omega_t + \sum_{t=1}^T \delta_t + \varepsilon \cdot \Psi + \alpha \cdot \Psi \quad (42)$$

gdzie:

v_t – koszt jednostkowy realizacji danego zadania, uwzględniający koszt robocizny i sprzętu,

Ω_t – planowana wartość opóźnienia czasu realizacji zadania przy uwzględnieniu braku komunikacji,

δ_t – planowany wzrost kosztów materiału dla danego zadania poniesiony ze względu na brak komunikacji,

ε – jednostkowa wartość kosztów pośrednich, element uwzględniany w przypadku zadań znajdujących się na ścieżce krytycznej i powodujących wydłużenie realizacji całego przedsięwzięcia,

α – jednostkowa wartość kar umownych, element uwzględniany w przypadku zadań znajdujących się na ścieżce krytycznej i powodujących wydłużenie realizacji całego przedsięwzięcia.

W wyniku wyżej wymienionego postępowania można wyznaczyć krytyczne kanały komunikacyjne pomiędzy uczestnikami, których utrzymanie jest istotne, aby nie generować ewentualnych opóźnień w harmonogramie przedsięwzięcia, względnie wzrostu kosztów jego realizacji.

Całość opracowanych algorytmów została zaimplementowana komputerowo w języku programowania Python z wykorzystaniem biblioteki NumPy do rachunku macierzowego.

6. Przykłady zastosowania opracowanej metody

6.1. Charakterystyka przedsięwzięcia budowlanego

Prezentację zaproponowanego podejścia oparto na przykładzie przedsięwzięcia budowlanego, w którego realizacji autorka rozprawy brała udział, pracując na stanowisku kierownika robót.

Studium przypadku jest związane z budową osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego Bytkowska Park (kompleks czterech budynków sześciokondygnacyjnych z garażami podziemnymi o łącznej powierzchni użytkowej około 12 000 m²) w Katowicach (fot. 1-6). Realizacja inwestycji trwała od początku 2016 i zakończyła się w grudniu 2019 roku. Budżet inwestycji wyniósł 40 mln złotych.



Fot. 1. Wizualizacja omawianego przedsięwzięcia (źródło: Wawel Service)



Fot. 2. Widok z drona przedsięwzięcia w fazie realizacji od strony północnej (źródło: miasto.pro)



Fot. 3. Widok z drona omawianego przedsięwzięcia w fazie realizacji od strony południowej (źródło: miasto.pro)



Fot. 4. Widok omawianego przedsięwzięcia w fazie realizacji od strony północnej. Stan w rozpatrywanym okresie – pierwszy miesiąc po reorganizacji (źródło: fot. autorki)

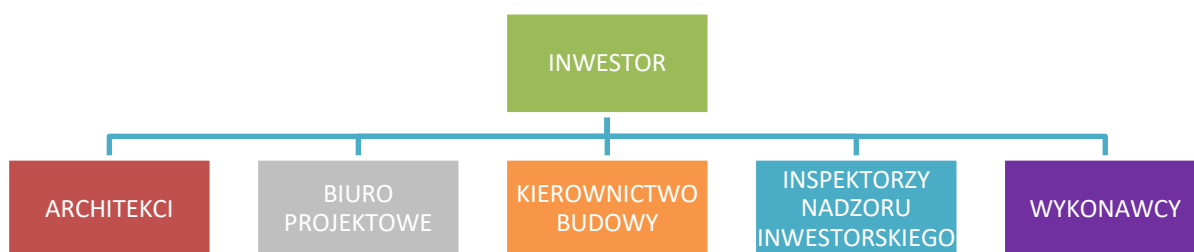


Fot. 5. Widok omawianego przedsięwzięcia w fazie realizacji od strony zachodniej. Stan w rozpatrywanym okresie – drugi miesiąc po reorganizacji (źródło: fot. autorki)



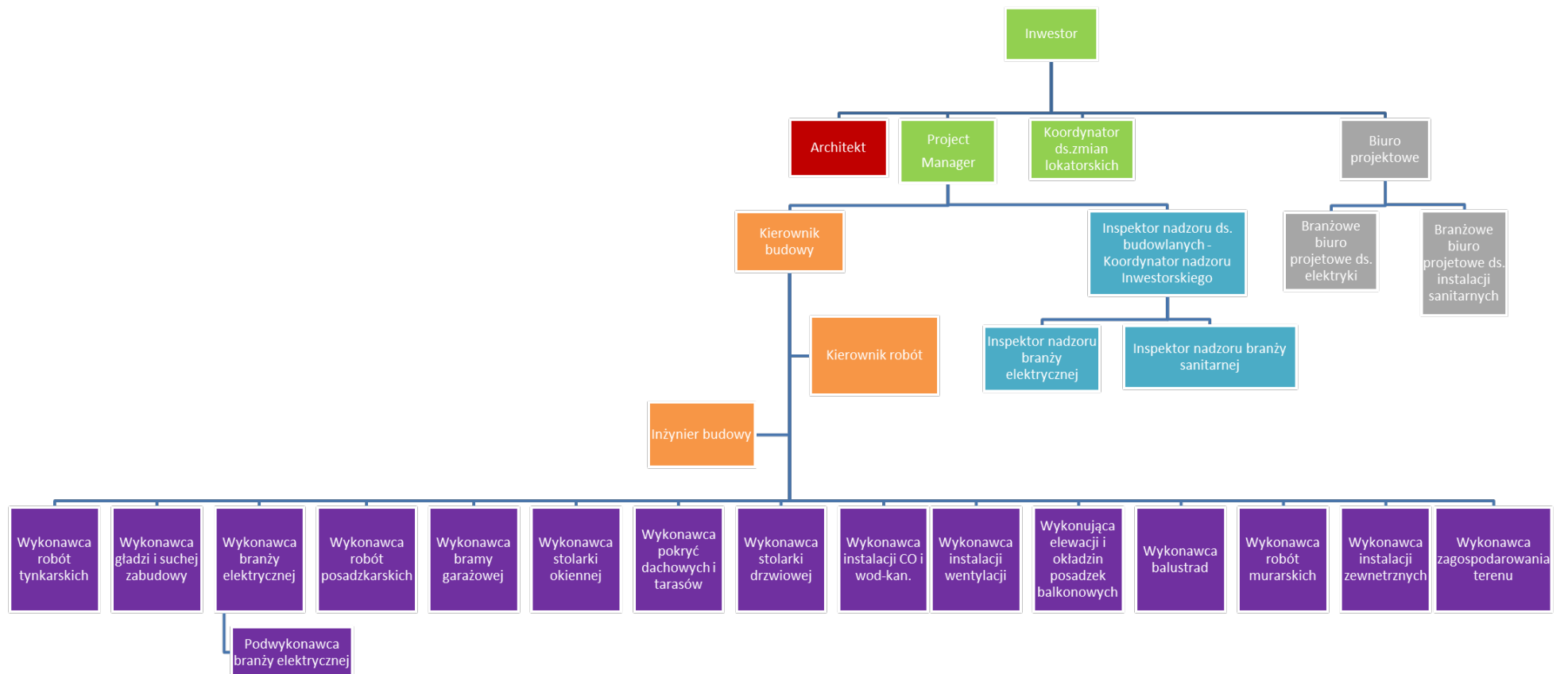
Fot. 6. Widok omawianego przedsięwzięcia w fazie realizacji od strony wschodniej. Stan w rozpatrywanym okresie – drugi miesiąc po reorganizacji (źródło: fot. autorki)

Do września 2018 roku inwestycja była realizowana w systemie generalnego wykonawstwa. W związku z pogarszającą się koniunkturą na rynku budowlanym generalny wykonawca ogłosił upadłość, wskutek czego inwestor podjął decyzję o zatrudnieniu kadry zarządzającej oraz zawarciu umów bezpośrednio z przedsiębiorstwami wykonawczymi, specjalizującymi się w danym rodzaju robót budowlanych. Została stworzona nowa formalna struktura organizacyjna przedsięwzięcia (rys. 21 i 22), a w ramach samoorganizacji zaczęła się tworzyć nieformalna struktura relacji pomiędzy uczestnikami budowy.



Rys. 21. Nowa struktura umowna pomiędzy organizacjami w ramach budowy osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego w Katowicach (pierwszy miesiąc po reorganizacji).

Opracowanie własne



Rys. 22. Nowa formalna struktura organizacyjna przedsięwzięcia (pierwszy miesiąc po reorganizacji). Opracowanie własne

6.2. Zebranie danych

Na potrzeby badań zostały zebrane (za pomocą kwestionariusza ankiety – załącznik III) informacje od wszystkich uczestników projektu, dotyczące komunikacji między nimi w ramach pierwszych czterech tygodni po wznowieniu realizacji przedsięwzięcia. Udział w badaniu wzięli wszyscy uczestnicy przedsięwzięcia, realizujący w danym okresie wyznaczone zadania. Uczestnicy biorący udział w badaniu to przede wszystkim: kierownik budowy, kierownik robót, inżynier budowy, inspektorzy nadzoru inwestorskiego, przedstawiciele biur projektowych oraz przedsiębiorstw realizujących dany zakres robót na omawianej inwestycji. Uczestnicy zostali poproszeni o wskazanie osób, z którymi w ostatnim miesiącu poprzedzającym badanie komunikowali się w celu realizacji poszczególnych zadań związanych z prowadzonymi pracami na realizowanych w ramach przedsięwzięcia obiektach budowlanych. Na potrzeby badań doprecyzowana została tematyka komunikacji, na którą składały się:

- komunikacja dotycząca dokumentacji projektowej (informacje dotyczące rozwiązań projektowych, błędy projektowe, braki w projekcie, kolizje projektów branżowych, możliwość wprowadzenia rozwiązań zamiennych oraz dodatkowych, zatwierdzanie stosowanych materiałów, zmiany lokatorskie itp.),
- komunikacja dotycząca prowadzonych robót (harmonogram realizacji robót, przedmiary i obmiary robót, kontrola i odbiory robót częściowe/końcowe, zamówienia i dostawy materiałów, logistyka i zagospodarowanie terenu budowy oraz placów składowych, warunki dotyczące prowadzonych robót, pojawiające się problemy w trakcie realizacji robót),
- komunikacja dotycząca BHP (plan BIOZ i inne akty prawne dotyczące BHP, kontrola i nadzór nad BHP),
- komunikacja dotycząca umów i rozliczeń (umowa i inne akty prawne, protokoły przerobowe, kary umowne, rozliczenia i inne informacje finansowe).

Jako kanały komunikacji zostały dopuszczone różne formy komunikacji, np. rozmowy telefoniczne, poczta elektroniczna, rozmowy „twarzą w twarz”, wideo-konferencje itp.

Kolejną informacją, o jakiej udzielenie zostali poproszeni uczestnicy, było przedstawienie rodzaju wiedzy niezbędnej do realizacji zadań będących w ich zakresie oraz określenie dostępności do tych informacji w ostatnim miesiącu poprzedzającym badanie.

Dodatkowo autorka rozprawy zebrała informacje dotyczące zaktualizowanego harmonogramu robót realizowanego przedsięwzięcia, z informacją na temat kosztów realizacji poszczególnych prac. Etap, w którym zostały przeprowadzone badania, obejmował realizację trzech budynków mieszkalnych o różnym stanie zaawansowania prac. Pierwszy z czterech budynków został zakończony i oddany do użytkowania. Harmonogram robót zakładał realizowanie kolejnych budynków w systemie pracy potokowej.

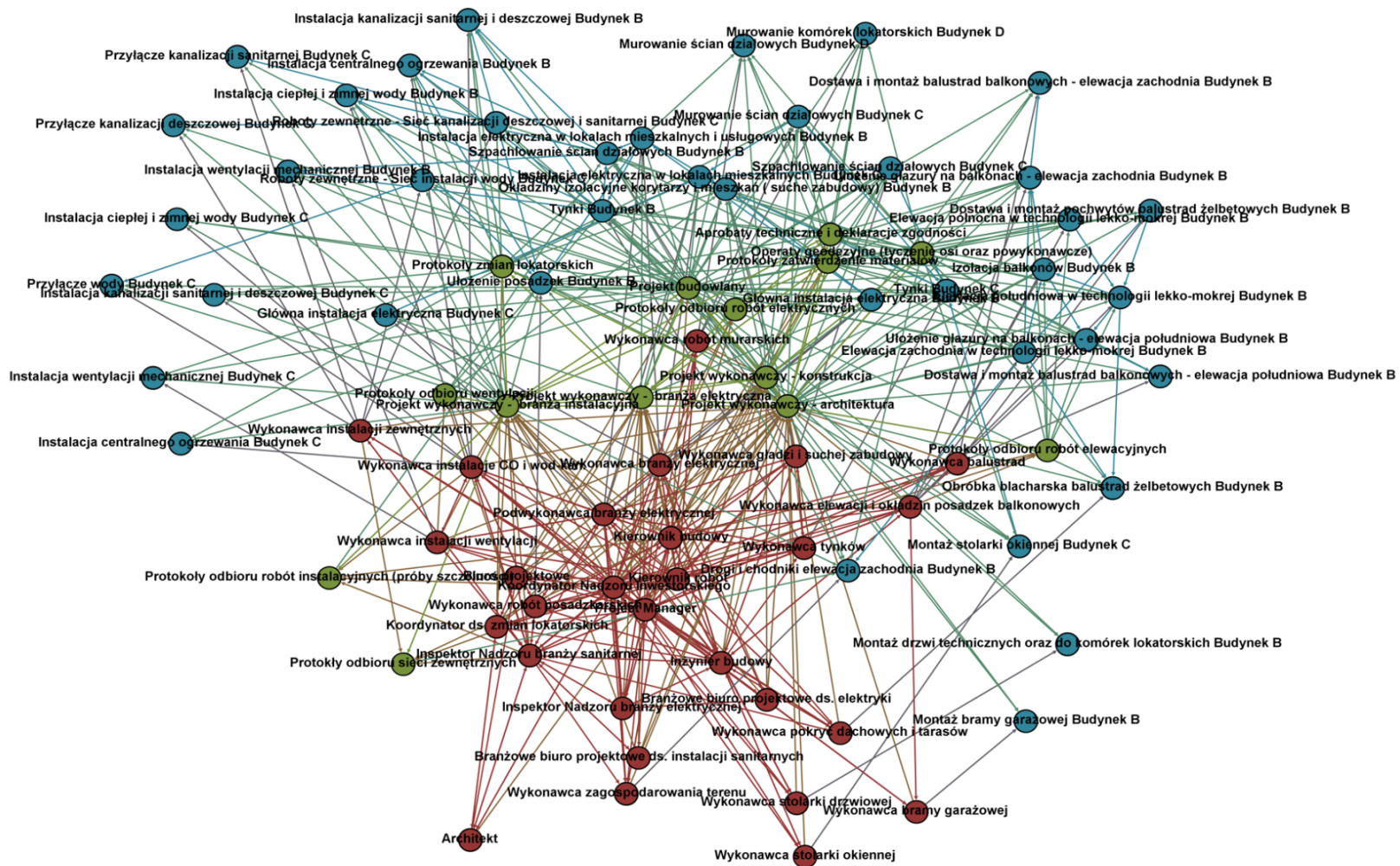
Największe zaawansowanie realizowanych prac i jednocześnie największa zaangażowana liczba uczestników w momencie zbierania danych obejmowała budynek B. Kolejno w budynku C również prowadzone były prace wykończeniowe, natomiast w budynku D trwały jeszcze prace związane z wykonaniem konstrukcji obiektu oraz pierwsze prace wykończeniowe.

Otrzymane dane zostały następnie wykorzystane do budowy metasieciowego modelu przedsięwzięcia, reprezentującego ostatni okres (miesiąc) jego realizacji.

6.3. Budowa modelu i jego analiza

6.3.1. Analiza strukturalna metasieci omawianego przedsięwzięcia

W pierwszym etapie w celu uzyskania informacji o rzeczywistej komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym na podstawie zebranych danych dokonano analizy strukturalnej metasieci przedsięwzięcia budowlanego z okresu pierwszego miesiąca po reorganizacji przedstawionej na rysunku 23.



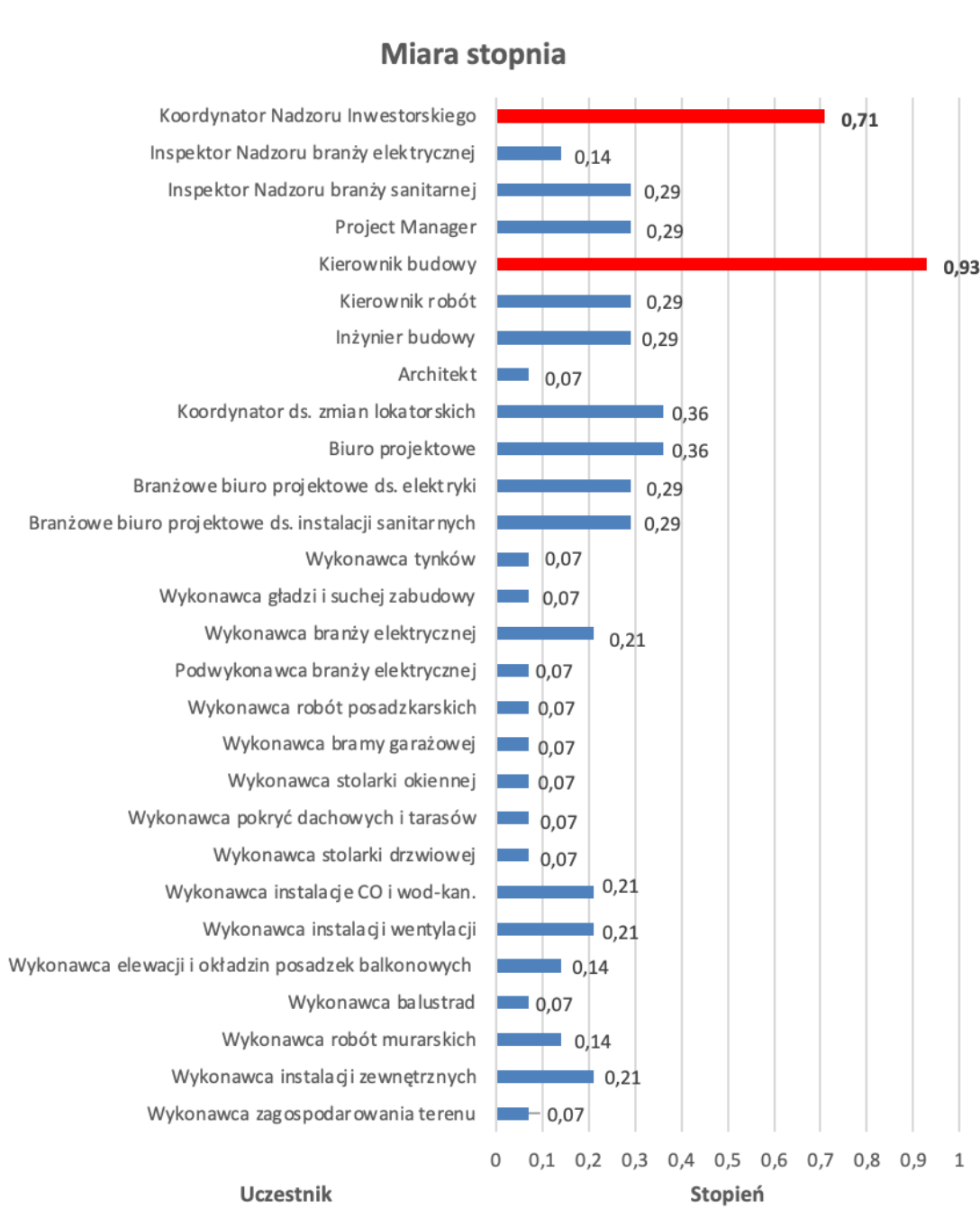
Rys. 23. Metasieć analizowanego przedsięwzięcia budowlanego (z rzeczywistą siecią komunikacji) w pierwszym miesiącu po reorganizacji.

Opracowanie własne

Analizę strukturalną otrzymanej metasieci przedsięwzięcia budowlanego oparto na wybranych charakterystycznych miarach strukturalnych sieci opisanych w rozdziale 5.2.1. Przeanalizowane zostały kolejno:

- stopień (ang. *Degree*),
- wyłączność (ang. *Exclusivity*),
- redundancja (ang. *Redundancy*),
- dostęp (ang. *Access*),
- obciążenie (ang. *Load*),
- kongruencja/zgodność (ang. *Congruence*),
- zgodność komunikacyjna (ang. *Communication Congruence*),
- wydajność (ang. *Performance*),
- współpraca (ang. *Negotiation*),
- obciążenie pracą (ang. *Workload*).

Pierwszą z omawianych miar jest **stopień (ang. *degree*)**, prezentujący liczbę połączeń pojedynczego uczestnika z wiedzą.



Rys. 24. Miara stopnia połączenia uczestników z wiedzą w analizowanym przedsięwzięciu.

Opracowanie własne

Analizując przedstawioną miarę stopnia połączenia z wiedzą (rys. 24), zauważamy, że kierownik budowy posiada prawie całą niezbędną wiedzę do realizacji zadań w rozpatrywanym okresie (93%). Nieco mniejszy, ale również znaczący dostęp do wiedzy ma koordynator nadzoru inwestorskiego. Odnosząc się do wcześniejszych badań (Śladowski, Radziszewska-Zielina, Kania 2019), gdzie analizowane były miary rzeczywistej sieci komunikacji pomiędzy uczestnikami, w omawianym przedsięwzięciu

stwierdzono, że kierownik budowy jest mało skomunikowany z pozostałymi uczestnikami przedsięwzięcia. Należy zauważyć, że jest on osobą posiadającą znaczną wiedzę, co powinno przełożyć się na liczbę połączeń z uczestnikami, którzy potrzebują informacji dotyczących realizacji zakresu swoich zadań. Jednocześnie wspomniane badania (Śladowski, Radziszewska-Zielina, Kania 2019) wskazywały na wysokie skomunikowanie koordynatora nadzoru inwestorskiego. Możliwe jest, że opisana sytuacja spowodowana jest faktem, że koordynator nadzoru inwestorskiego jako przedstawiciel inwestora był zaangażowany w nawiązanie współpracy z konkretnymi wykonawcami, co oznacza, że znał ich dłużej niż kierownik budowy, który dopiero nawiązywał relację z wykonawcami po reorganizacji przedsięwzięcia.

Na podstawie wyników obliczeń miary **wylączności (ang. *exclusivity*)** stwierdzono, że kluczowymi uczestnikami ze względu na dostęp do wiedzy, której nikt inny nie posiada, są kierownik budowy (wartość miary 3,07) oraz koordynator zmian lokatorskich (wartość miary 1,00). Ze względu na specyficzny moment realizacji analizowanego przedsięwzięcia – zmiana sposobu zarządzania z systemu generalnego wykonawstwa na system pakietowy i zebrania danych do badań w początkowej fazie (miesiąc po reorganizacji) – wszystkie informacje mogą nie być jeszcze ogólnodostępne dla wszystkich uczestników.

Nadmiarowość (ang. *redundancy*) pozwala ocenić powszechność danej wiedzy. Redundancja dla analizowanego przedsięwzięcia wskazała, że średnio sześciu uczestników posiada ten sam zakres informacji w przedsięwzięciu. Istotne jest, że organizacja z niewielką redundancją jest bardziej narażona na negatywne skutki braku dostępności uczestnika do danej wiedzy. Z drugiej strony, zbyt duża redundancja sprawia, że organizacja staje się nieefektywna ze względu na chaos komunikacyjny (Pryke, Badi, Almadhoob, Sunadraraj, Addyman 2018). To, że średnio sześciu uczestników ma w ramach tego przedsięwzięcia dostęp do tych samych informacji, pozwala bez większych problemów uzyskać niezbędną wiedzę nawet w momencie nieobecności poszczególnych pracowników. Nie wyklucza to jednocześnie wskazanego wcześniej faktu, że niektóre rodzaje wiedzy posiadane są tylko przez jednego uczestnika.

Indeks **dostępu (ang. access)** identyfikuje połączenia do krytycznej wiedzy i w pierwszej kolejności identyfikuje uczestników, którzy mają wyłączone połączenia do wiedzy.

W wyniku obliczeń miary dostępu otrzymano macierz zerową, co oznacza, że wszyscy uczestnicy mający dostęp do jakiegokolwiek wiedzy i komunikują się z co najmniej dwoma innymi uczestnikami, co wpływa korzystnie na realizację tego przedsięwzięcia, zwłaszcza że uczestnicy dopiero wdrażają się w realizację budowy, która została przerwana w określonym momencie. Sytuacja ta jest jednak trudniejsza niż realizacja budowy od początku, ponieważ niektóre zadania zostały rozpoczęte i nie zakończone i należy je kontynuować w odpowiedni sposób, aby nie stracić na jakości wykonanych prac.

Metasieciową miarą **obciążenia (ang. load)** jest także złożoność. Wartość tej miary mieści się w przedziale 0 do 1. Określa ona gęstość metasieci, która powstaje w wyniku połączenia wszystkich dostępnych typów sieci.

Dla analizowanej metasieci przedmiotowego przedsięwzięcia wartość obciążenia wynosi 0,157, co oznacza, że stopień usieciowienia nie jest zbyt duży, lecz może to wynikać z faktu wczesnej fazy (pierwszy miesiąc po reorganizacji) tworzenia się sieci zależności uczestników, wiedzy i zadań tego przedsięwzięcia.

Kongruencja/zgodność (ang. congruence) mierzy podobieństwo między tym, jaką wiedzę posiadają uczestnicy przypisani do realizacji zadań, a tym, jaka wiedza jest wymagana do wykonania zadań. Miara kongruencji wiedzy dla rozpatrywanego przedsięwzięcia wynosi 0,08393, co oznacza, że w bardzo dużym stopniu uczestnicy przypisani do realizacji poszczególnych zadań nie mają wiedzy, która jest niezbędna do realizacji tych zadań. Jest to najprawdopodobniej spowodowane tym, że wykonawcy dopiero co przystąpili do realizacji swoich zadań (pierwszy miesiąc po reorganizacji przedsięwzięcia). Z analizy poprzednich miar wiemy jednak, że wiedza jest dostępna w organizacji i możliwe jest jej zdobycie przez efektywną komunikację pomiędzy jej uczestnikami.

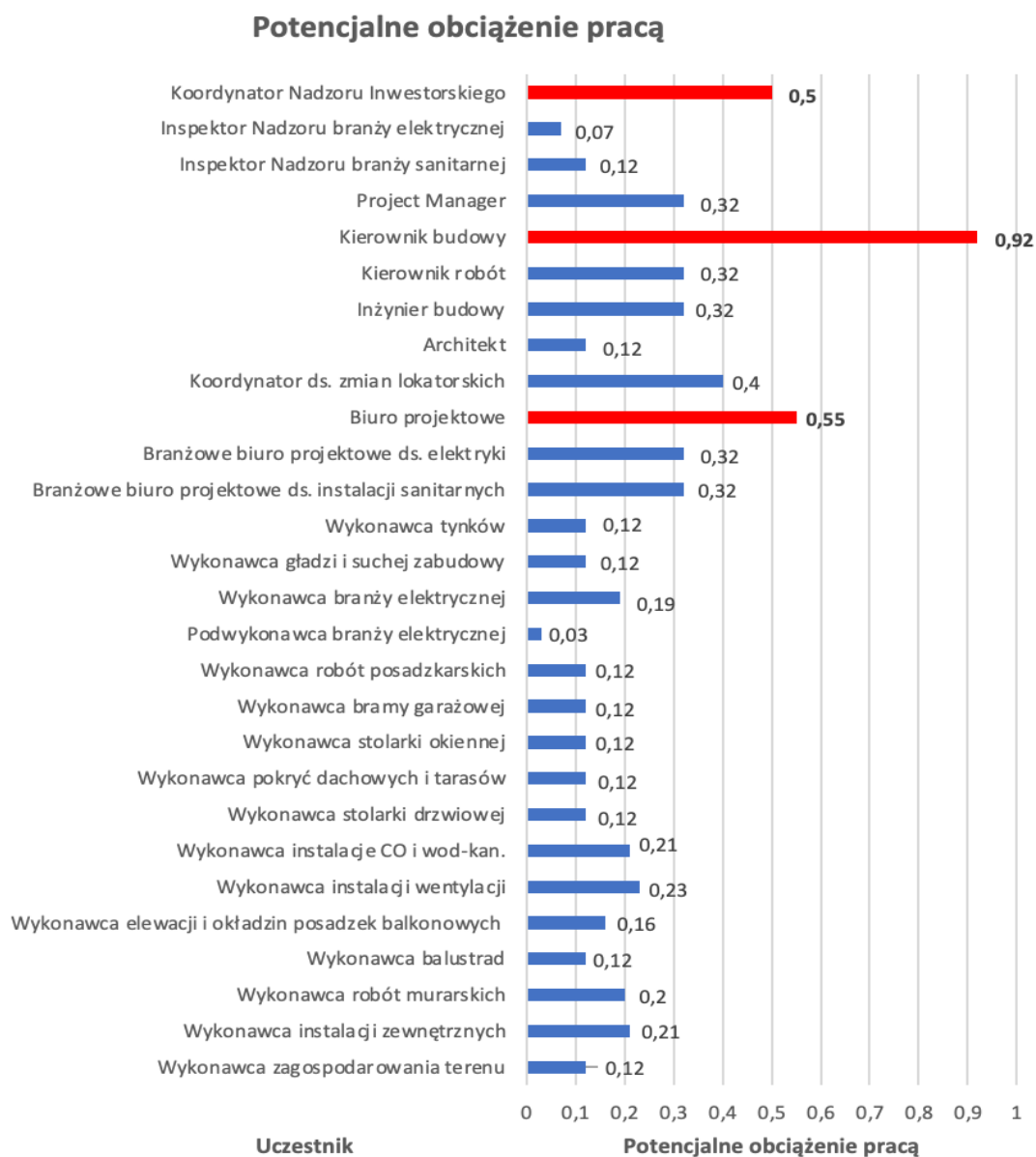
Inną, bardziej rozbudowaną miarą jest **zgodność komunikacyjna (ang. Communication Congruence)**.

Porównując komunikację pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia pod kontem trzech przypadków wymaganej komunikacji (macierze **H, C, N**), zauważamy nadmiarowe kanały komunikacyjne. Jednocześnie występują braki komunikacyjne na potrzeby realizacji zadań w sekwencji bezpośredniego poprzedzania. W ramach przekazania frontu robót brakuje przykładowo komunikacji pomiędzy przedsiębiorstwem wykonującym instalację elektryczną a przedsiębiorstwem wykonującym tynki oraz przedsiębiorstwem wykonującym gładzie na ściankach działowych. Natomiast w przypadku komunikacji dotyczącej przekazywania sobie wiedzy niezbędnej do realizacji zadań przede wszystkim brakuje relacji pomiędzy kierownikiem budowy (który ma znaczny zasób wiedzy) a większością wykonawców realizujących np. instalacje elektryczne, C.O., wod.-kan., wentylacje, sieci zewnętrzne, czy też przedsiębiorstwami wykonującymi stolarkę drzwiową czy roboty murarskie w zakresie ścianek działowych. W zakresie komunikacji ze względu na realizację tych samych zadań nie wykryto braków w komunikacji.

Otrzymana macierz wymaganej komunikacji (**Q**) w znacznym stopniu różni się od macierzy rzeczywistej komunikacji, utworzonej na podstawie zebranych danych z realizowanego przedsięwzięcia. Wielu uczestników posiada nadmiarową liczbę połączeń, zwłaszcza koordynator nadzoru inwestorskiego oraz branżowi inspektorzy nadzoru. Nadmiarowa liczba kanałów komunikacyjnych generuje dodatkowe niepotrzebne koszty, związane z zaangażowaniem się uczestników w przekazywanie informacji. Porównanie obu macierzy komunikacji wskazuje również braki w komunikacji na poziomie relacji kierownika budowy z wykonawcami, pomiędzy inspektorami branżowymi a branżowymi biurami projektowymi oraz wśród samych wykonawców.

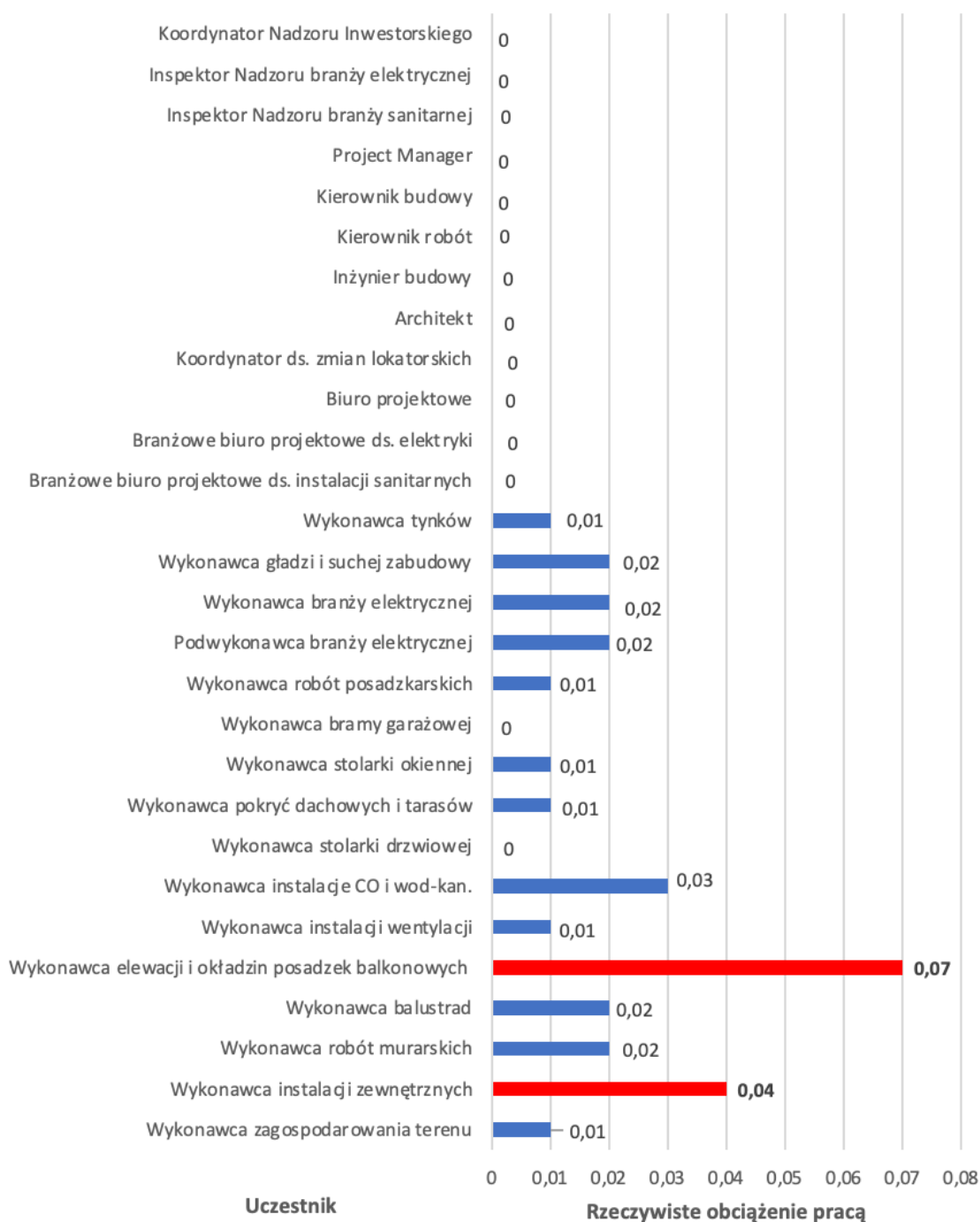
W ramach analizowanego przedsięwzięcia określono wartości miar wydajności (**ang. *performance***) i współpracy (**ang. *negotiation***), które zostały przeanalizowane łącznie. Uzyskano bowiem wynik, że wydajność przedsięwzięcia pod kontem możliwości realizacji zadań przez przydzielonych do nich uczestników na podstawie tego, czy uczestnicy mają wiedzę niezbędną do wykonania tych zadań, wyniosła 0. Jednocześnie miara współpracy wskazała wartość 1, co oznacza, że wiedza jest dostępna w ramach przedsięwzięcia, ale uczestnicy realizujący poszczególne zadania muszą uzyskać do niej dostęp przez komunikowanie się między sobą.

Na koniec przeanalizowano mierniki **obciążenia pracą** (ang. *workload*), które określają wiedzę wykorzystywaną przez uczestnika do wykonywania zadań, do których jest przypisany.



Rys. 25. Potencjalne obciążenie pracą związaną z wiedzą uczestników w analizowanym przedsięwzięciu. Opracowanie własne

Rzeczywiste obciążenie pracą



Rys. 26. Rzeczywiste obciążenie pracą związaną z wiedzą uczestników w analizowanym przedsięwzięciu. Opracowanie własne

Potencjalne obciążenie pracą związaną z wiedzą (rys. 25) jest szczególnie wysokie w przypadku kierownika budowy (wartość miary 0,92), a kolejnymi uczestnikami są biuro projektowe (wartość miary 0,55) oraz koordinator nadzoru inwestorskiego (0,50). Natomiast rzeczywiste obciążenie pracą związane z wiedzą (rys. 26) prezentuje zgoła

odmienne wyniki. Najwyższe wyniki miary uzyskały przedsiębiorstwo wykonujące elewację i montaż płytek balkonowych oraz przedsiębiorstwo wykonujące instalacje zewnętrzne i to wykonujące instalacje C.O. oraz wod.-kan. Na podstawie analizy tych miar dowiadujemy się, że znaczna ilość wiedzy jest w posiadaniu kadry zarządzającej, która nie wykonuje bezpośrednio prac, natomiast wykonawcy, którzy realnie potrzebują wiedzy do realizacji zadań, po prostu jej nie posiadają, lecz mogą uzyskać niezbędne informacje od kadry zarządzającej.

W wyniku przeprowadzonej analizy strukturalnej sieci relacji uczestników, wiedzy i zadań uzyskano wiele różnorodnych informacji na temat badanego przedsięwzięcia budowlanego. Otrzymane wyniki są ściśle związane z sytuacją, w jakiej znalazło się realizowane przedsięwzięcie (reorganizacja przedsięwzięcia na skutek upadłości generalnego wykonawcy i przyjęcie systemu pakietowego na dalszy etap realizacji), i momentem, w którym zostały zebrane dane (pierwszy miesiąc po wspomnianej reorganizacji). Na wyjątkową uwagę zasługuje fakt, że cała niezbędna wiedza do realizacji zadań jest dostępna w organizacji, jednakże nie posiadają jej uczestnicy przypisani do realizacji zadań, w których ta wiedza jest niezbędna. Jednocześnie wskazano, że na jeden rodzaj informacji przypada sześciu uczestników. Jest to jednak średnia wartość, ponieważ – jak wiemy z analizy miary stopnia – to kierownik budowy i koordynator nadzoru inwestorskiego mają dostęp do prawie wszystkich informacji. W zakresie wymaganej komunikacji zauważono, że brakuje komunikacji pomiędzy uczestnikami realizującymi zadania w sekwencji bezpośredniego poprzedzania (np. wykonawca balustrad oraz wykonawca elewacji), jak również komunikacji ze względu na przekazywanie sobie wiedzy niezbędnej do realizacji zadań (np. komunikacja pomiędzy kierownikiem budowy a wykonawcą stolarki drzwiowej). Jednocześnie rzeczywista sieć komunikacji cechuje się bardzo dużą liczbą nadmiarowych kanałów, które mogą powodować chaos informacyjny i generować dodatkowe koszty zaangażowania się uczestników w przekazywanie informacji. Na podstawie analizy strukturalnej należy stwierdzić, że w tej początkowej fazie tworzenia się (na nowo) organizacji konieczne jest szybkie wdrożenie zarządzania przepływem informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.

Przeprowadzona analiza potwierdza również przedstawione w przeglądzie literatury argumenty, że komunikację pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego należy planować i monitorować w całym cyklu jego realizacji.

6.3.2. Optymalizacja komunikacji wraz z analizą czasowo-kosztową

W związku z uzyskanymi wynikami analizy strukturalnej metasieci omawianego studium przypadku przedstawiono poniżej możliwość poprawy komunikacji pomiędzy uczestnikami przez opracowanie planu optymalnej komunikacji ze względu na minimalizację kosztu komunikacji, wynikającego z liczby kanałów komunikacyjnych oraz wskazano kluczowe kanały komunikacyjne w kontekście ich wpływu na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia.

1. Ze względu na trwające od miesiąca po reorganizacji prace uzyskano dane dotyczące tego okresu na temat: komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia (rzeczywistej, samoorganizującej się sieci komunikacji) (rys. 28), sekwencji wykonywanych w toku zadań (rys. 29) oraz uczestników przypisanych do ich realizacji (rys. 30) i posiadanej przez nich wiedzy (rys. 31) oraz wiedzy, jaka jest potrzebna do realizacji tych zadań (rys. 32). Następnie dla najbliższego ustalonego okresu realizacji przedsięwzięcia (tutaj przyjęto cykl miesięczny, czyli drugi miesiąc po reorganizacji) przygotowano dane na temat: sekwencji planowanych zadań (rys. 33), listy uczestników przedsięwzięcia i posiadanej przez nich wiedzy (rys. 34) oraz realizowanych zadaniach (rys. 35), a także wiedzy, jaka jest potrzebna do realizacji tych zadań (rys. 36).

Dodatkowo potrzebne były dane na temat ustalonej wymiany informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia, wynikające z jego formalnej struktury organizacyjnej (rys. 27).

Uczestników, wiedzę i zadania z rozpatrywanych dwóch okresów wyszczególniono w tabelach 5-7.

Tabela 5

Opis węzłów w sieciach – uczestnicy

Koordynator Nadzoru Inwestorskiego
Inspektor Nadzoru branży elektrycznej
Inspektor Nadzoru branży sanitarnej
Project Manager
Kierownik budowy
Kierownik robót
Inżynier budowy
Architekt
Koordynator ds. zmian lokatorskich
Biuro projektowe
Branżowe biuro projektowe ds. elektryki

Branżowe biuro projektowe ds. instalacji sanitarnych
Wykonawca tynków
Wykonawca gładzi i suchej zabudowy
Wykonawca branży elektrycznej
Podwykonawca branży elektrycznej
Wykonawca robót posadzkarskich
Wykonawca bramy garażowej
Wykonawca stolarki okiennej
Wykonawca pokryć dachowych i tarasów
Wykonawca stolarki drzwiowej
Wykonawca instalacji C.O. i wod.-kan.
Wykonawca instalacji wentylacji
Wykonawca elewacji i okładzin posadzek balkonowych
Wykonawca balustrad
Wykonawca robót murarskich
Wykonawca instalacji zewnętrznych
Wykonawca zagospodarowania terenu
Wykonawca powłok malarskich
Wykonawca wykonujący dostawę i montaż windy
Wykonawca usług glazurniczych
Wykonawca izolacji termicznej stropów garażu

Tabela 6

Opis węzłów w sieciach – wiedza

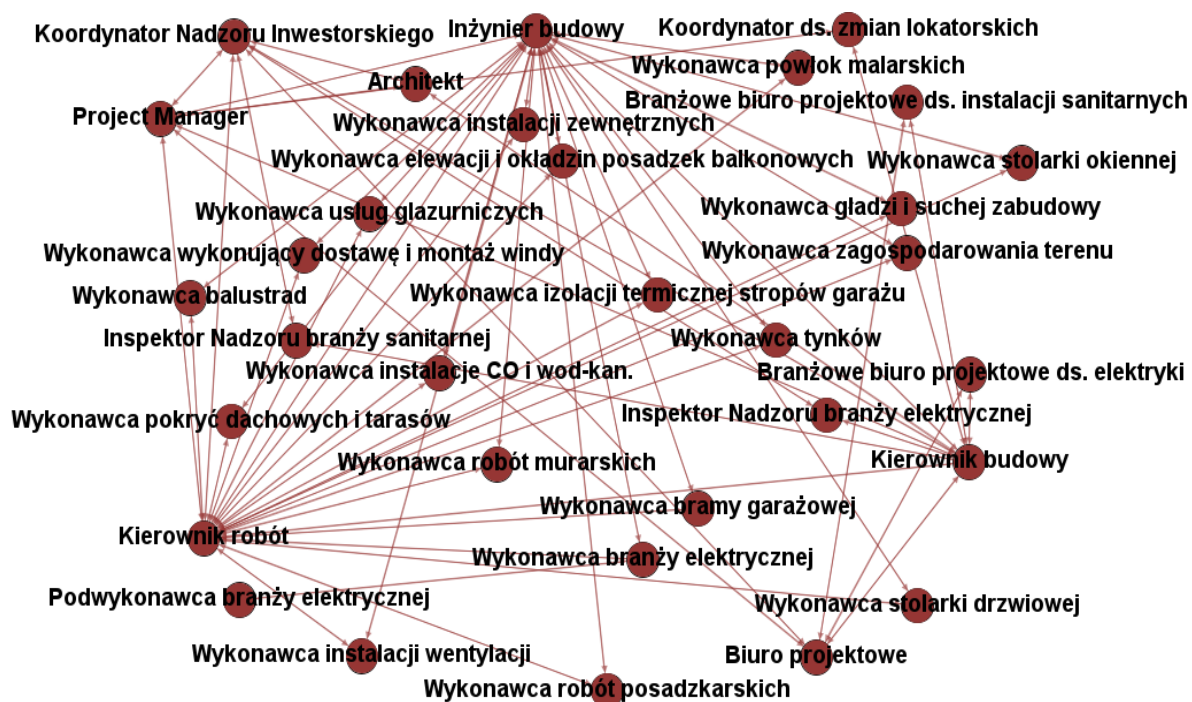
Projekt budowlany
Projekt wykonawczy – architektura
Projekt wykonawczy – konstrukcja
Projekt wykonawczy – branża instalacyjna
Projekt wykonawczy – branża elektryczna
Protokoły zmian lokatorskich
Operaty geodezyjne (tyczenie osi oraz powykonawcze)
Protokoły odbioru robót elewacyjnych
Protokoły odbioru robót instalacyjnych (próby szczelności)
Protokoły odbioru robót elektrycznych
Protokoły odbioru sieci zewnętrznych
Protokoły odbioru wentylacji
Aprobaty techniczne i deklaracje zgodności
Protokoły zatwierdzenie materiałów
Protokoły badań wytrzymałości betonu

Tabela 7

Opis węzłów w sieciach – zadania

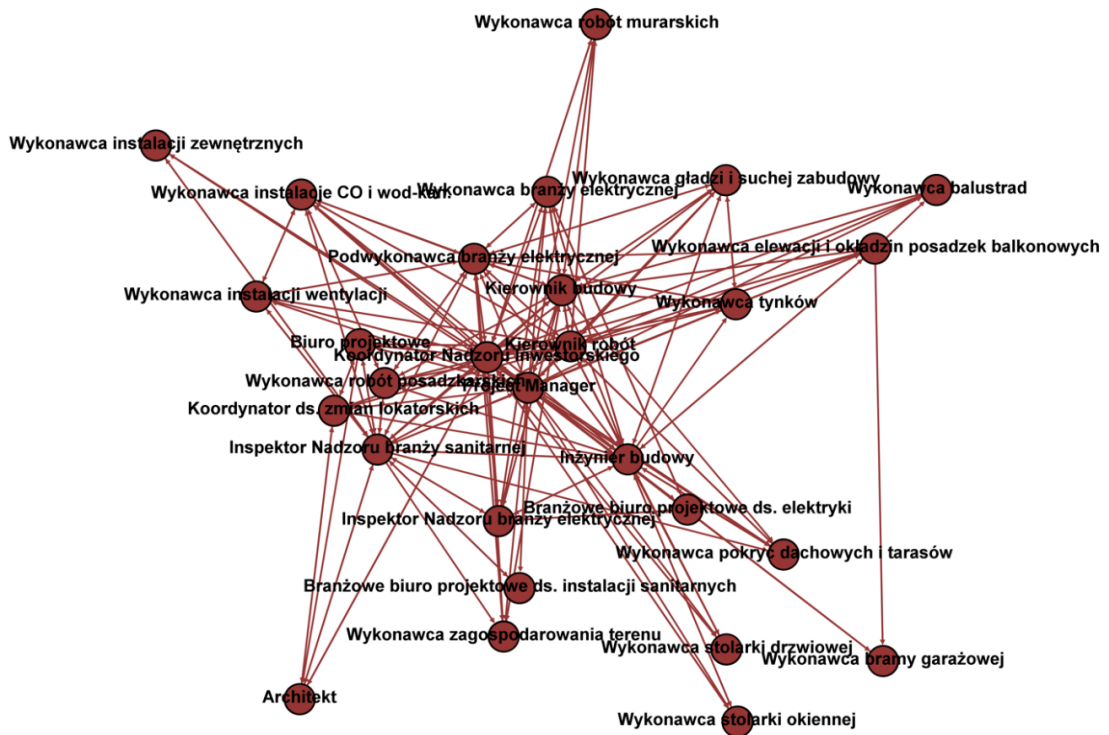
Dostawa i montaż pochwyków balustrad żelbetowych Budynek B
Elewacja północna wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B
Elewacja południowa wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B
Elewacja zachodnia wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B
Izolacja balkonów Budynek B
Ułożenie glazury na balkonach – elewacja zachodnia Budynek B
Ułożenie glazury na balkonach – elewacja południowa Budynek B
Dostawa i montaż balustrad balkonowych – elewacja zachodnia Budynek B
Dostawa i montaż balustrad balkonowych – elewacja południowa Budynek B
Obróbka blacharska balustrad żelbetowych Budynek B
Główna instalacja elektryczna Budynek B
Instalacja elektryczna w lokalach mieszkalnych i usługowych Budynek B
Tynki Budynek B
Szpachlowanie ścian działowych Budynek B
Ułożenie posadzek Budynek B
Okładziny izolacyjne korytarzy i mieszkań (suche zabudowy) Budynek B
Instalacja kanalizacji sanitarnej i deszczowej Budynek B
Instalacja ciepłej i zimnej wody Budynek B
Instalacja centralnego ogrzewania Budynek B
Instalacja wentylacji mechanicznej Budynek B
Montaż drzwi technicznych oraz do komórek lokatorskich Budynek B
Montaż bramy garażowej Budynek B
Drogi i chodniki – elewacja zachodnia Budynek B
Murowanie ścian działowych Budynek C
Tynki Budynek C
Szpachlowanie ścian działowych Budynek C
Montaż stolarki okiennej Budynek C
Główna instalacja elektryczna Budynek C
Instalacja elektryczna w lokalach mieszkalnych Budynek C
Instalacja kanalizacji sanitarnej i deszczowej Budynek C
Instalacja ciepłej i zimnej wody Budynek C
Instalacja centralnego ogrzewania Budynek C
Instalacja wentylacji mechanicznej Budynek C
Roboty zewnętrzne – sieć kanalizacji deszczowej i sanitarnej Budynek C
Roboty zewnętrzne – sieć instalacji wody Budynek C
Przyłącze kanalizacji deszczowej Budynek C
Przyłącze kanalizacji sanitarnej Budynek C

Przyłącze wody Budynek C
Murowanie ścian działowych Budynek D
Murowanie komórek lokatorskich Budynek D
Elewacja wschodnia wykonywana metodą lekką-mokłą Budynek B
Ułożenie glazury na balkonach – elewacja wschodnia Budynek B
Dostawa i montaż balustrad balkonowych – elewacja wschodnia Budynek B
Pierwsze malowanie korytarzy i klatki schodowej Budynek B
Ułożenie glazury na korytarzach i klatce schodowej Budynek B
Montaż windy Budynek B
Drogi, chodniki i wejście główne – elewacja północna Budynek B
Wykonanie izolacji termicznej stropu garażu Budynek C
Murowanie szachtów instalacyjnych Budynek C
Szpachlowanie szachtów instalacyjnych Budynek C
Montaż stolarki okiennej Budynek D
Stropodach – izolacja termiczna i pokrycie Budynek D
Wykonanie izolacji termicznej stropu garażu Budynek D



Rys. 27. Sieć formalnej komunikacji wynikająca ze struktury organizacyjnej przedsięwzięcia.

Opracowanie własne



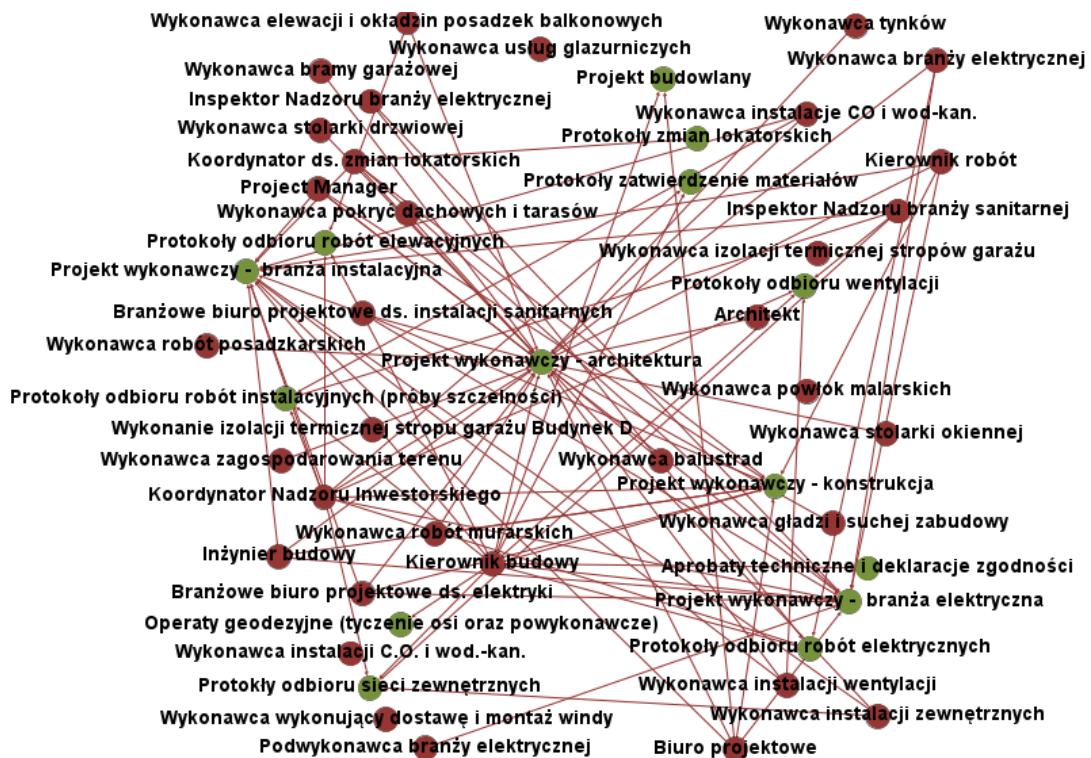
Rys. 28. Sieć rzeczywistej, samoorganizującej się sieci komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego w pierwszym miesiącu po reorganizacji. Gęstość sieci 0,287. Najwyższy stopień centralności 0,893 (Koordynator Nadzoru Inwestorskiego). Opracowanie własne



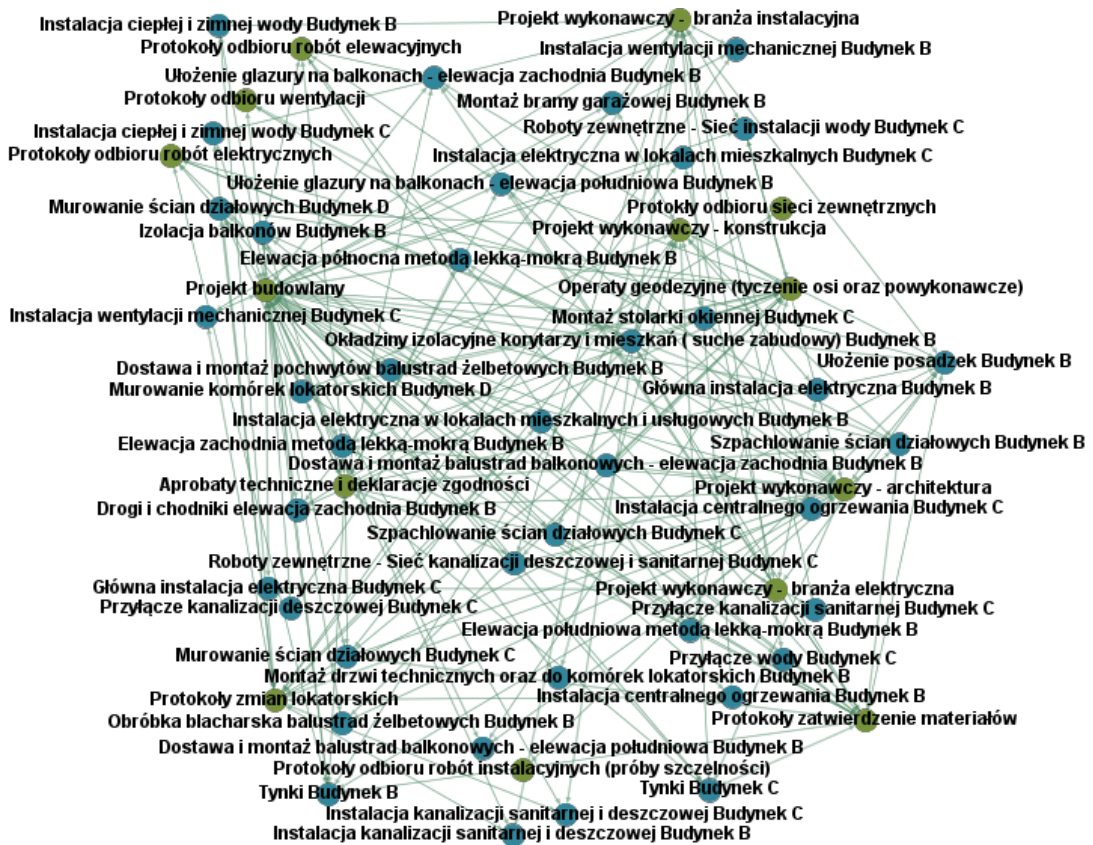
Rys. 29. Sieć przedstawiająca sekwencje wykonywanych zadań (harmonogram robót) w pierwszym miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne



Rys. 30. Sieć zadań realizowanych przez uczestników przedsięwzięcia budowlanego w pierwszym miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne



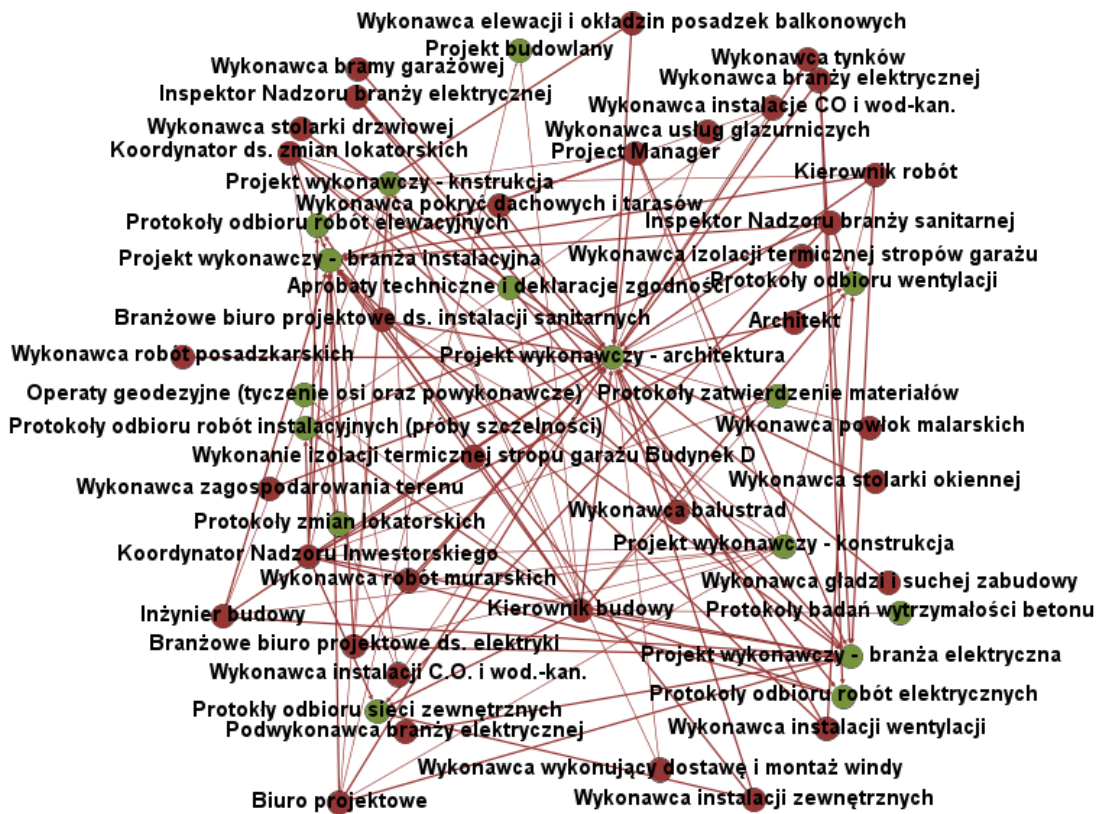
Rys. 31. Sieć posiadanej wiedzy przez uczestników przedsięwzięcia budowlanego w pierwszym miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne



Rys. 32. Sieć relacji pomiędzy zadaniami i wiedzą potrzebną do ich realizacji w pierwszym miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne



Rys. 33. Sieć przedstawiająca sekwencje wykonywanych zadań (harmonogram robót) w planowanym okresie – drugim miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne



Rys. 34. Sieć posiadanej wiedzy przez uczestników przedsięwzięcia budowlanego w planowanym okresie – drugim miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne

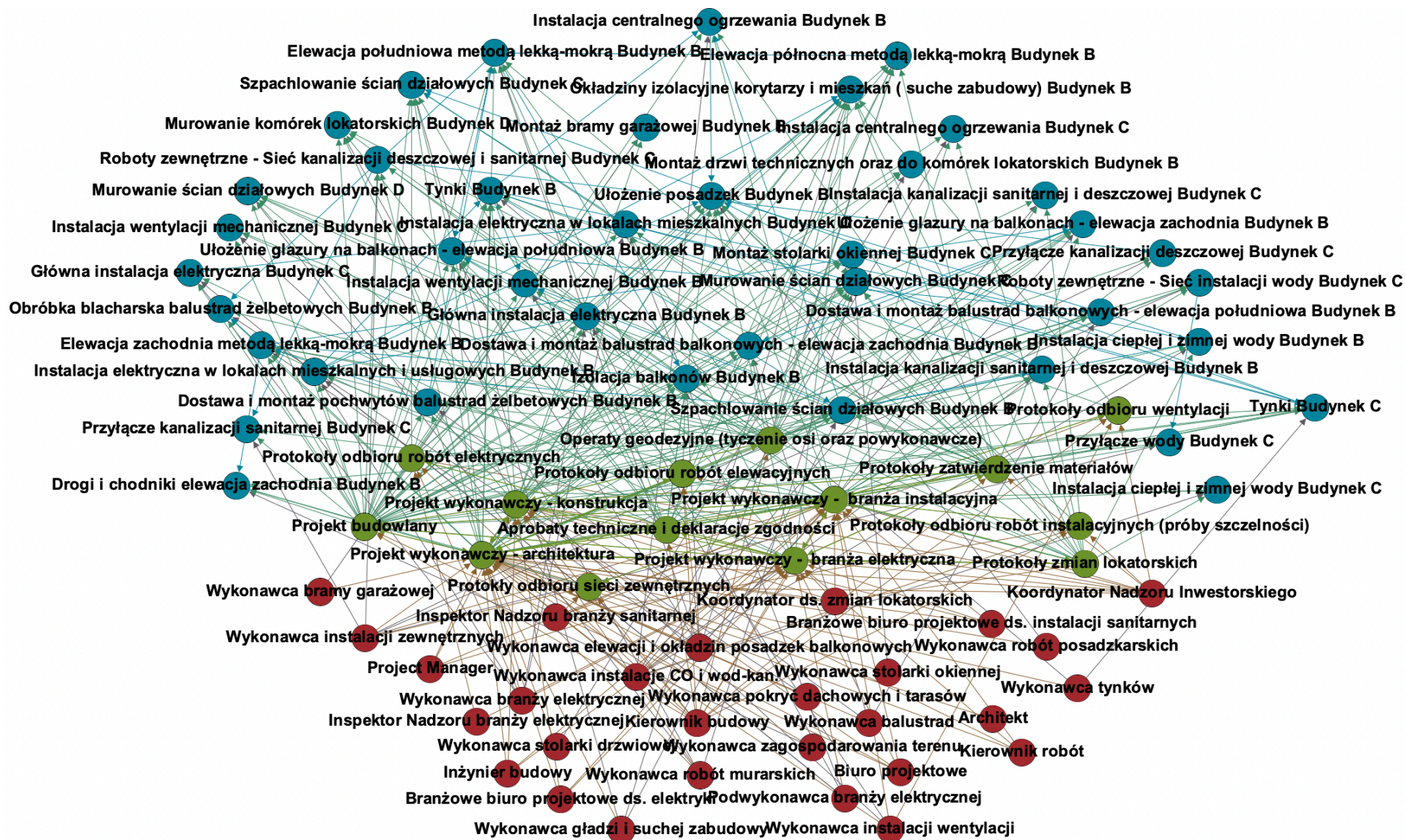


Rys. 35. Sieć zadań realizowanych przez uczestników przedsięwzięcia budowlanego w planowanym okresie – drugim miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne

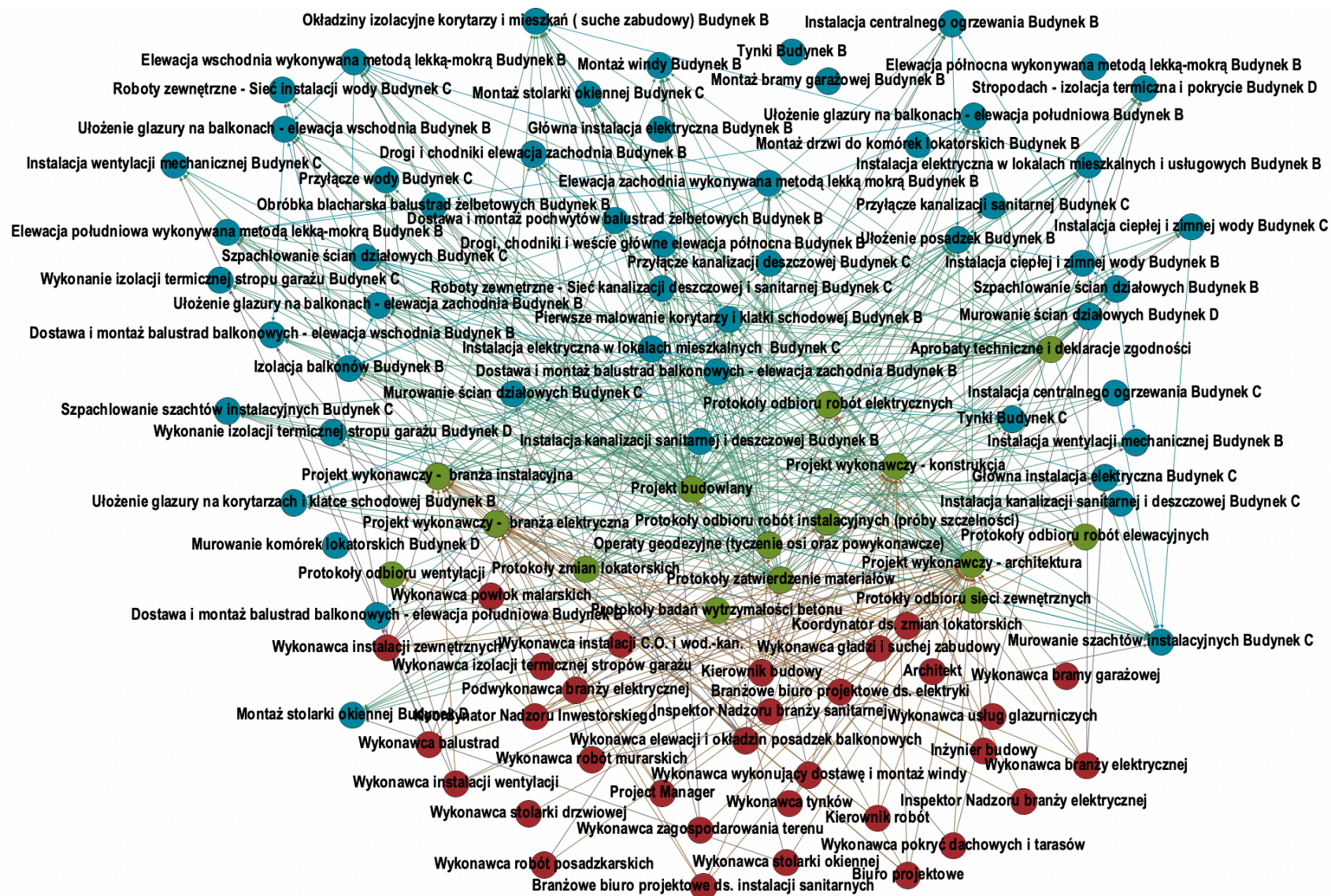


Rys. 36. Sieć relacji pomiędzy zadaniami i wiedzą potrzebną do ich realizacji w planowanym okresie – drugim miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne

2. Określenie struktury zależności pomiędzy uczestnikami, wiedzą i zadaniami przedsięwzięcia w formie metasieci, co zostało przedstawione na rysunkach 37 (pierwszy miesiąc po reorganizacji) i 38 (drugi miesiąc po reorganizacji)



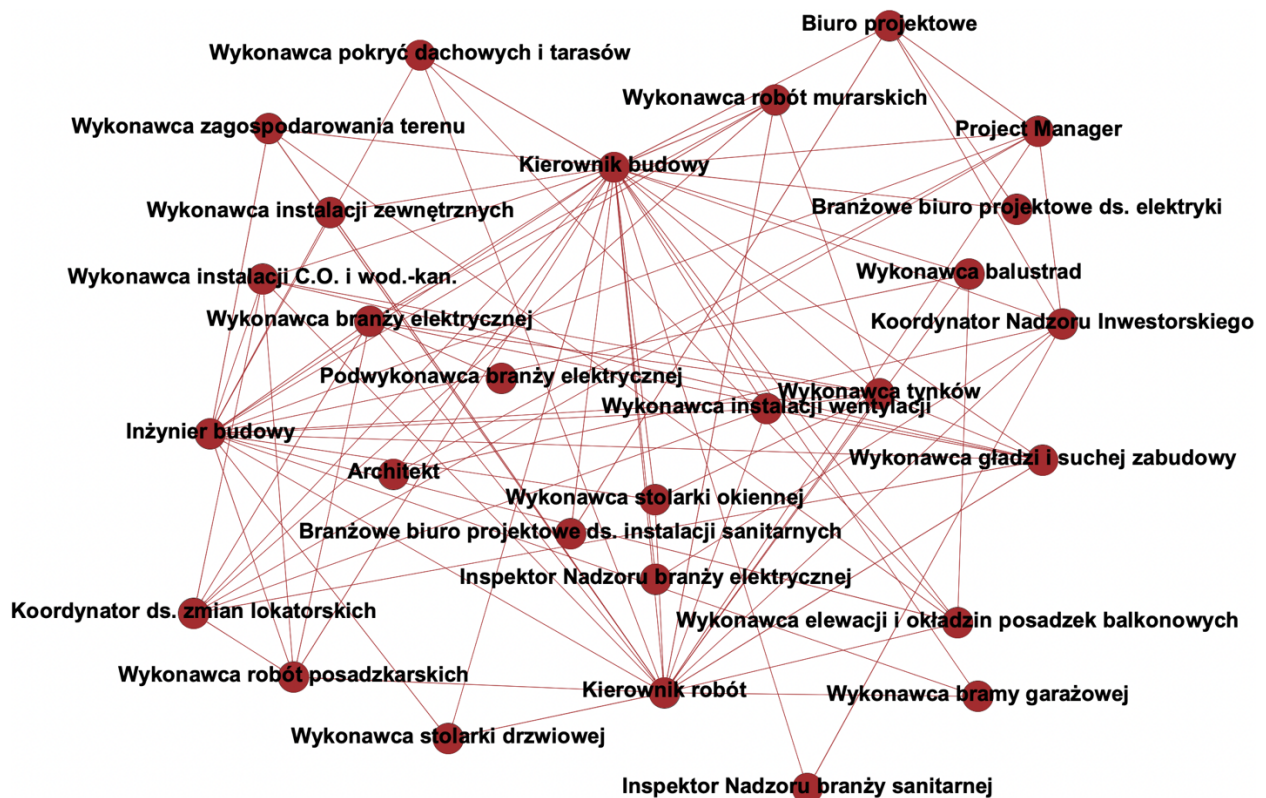
Rys. 37. Metasieć przedsięwzięcia budowlanego w analizowanym okresie jego realizacji – pierwszy miesiąc po reorganizacji. Opracowanie własne



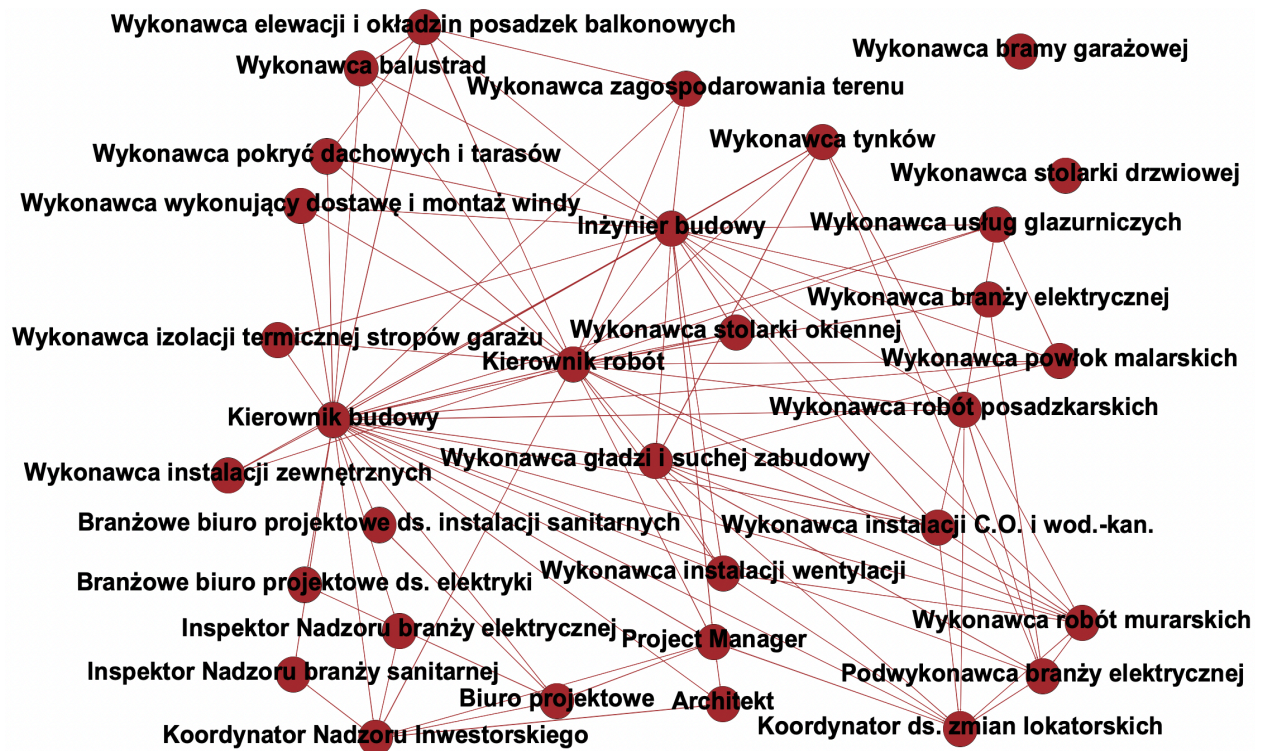
Rys. 38. Metasieć przedsięwzięcia budowlanego w analizowanym okresie jego realizacji – drugi miesiąc po reorganizacji. Opracowanie własne

3. Wykorzystując opracowany model, wygenerowano optymalne sieci komunikacji ze względu na minimalizację kosztu wymaganej komunikacji:

- a. Pozyskane dane umożliwiły opracowanie optymalnej sieci komunikacji z okresu pierwszego miesiąca po reorganizacji (rys. 39) oraz porównanie jej do rzeczywistej sieci komunikacji, ustalonej na podstawie zebranych danych z tego okresu (rys. 30).
- b. Stosując dane dotyczące drugiego miesiąca po reorganizacji oraz dane z monitorowania rzeczywistej komunikacji z okresu poprzedniego, opracowano plan optymalnej komunikacji w rozpatrywanym okresie (rys. 40).

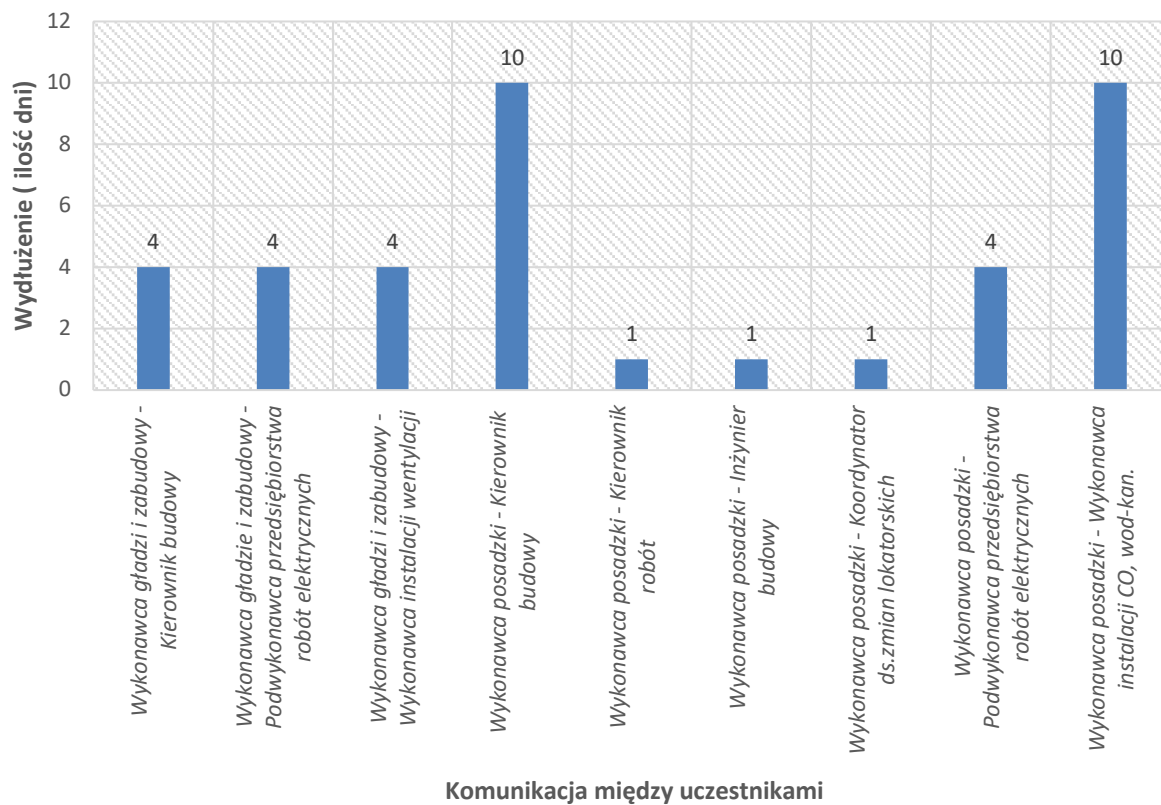


Rys. 39. Sieć komunikacji uczestników – optymalna sieć komunikacji ze względu na minimalizację kosztu wymaganej komunikacji w pierwszym miesiącu po reorganizacji. Gęstość sieci 0,235. Najwyższy stopień centralności 0,929 (Kierownik Budowy). Opracowanie własne



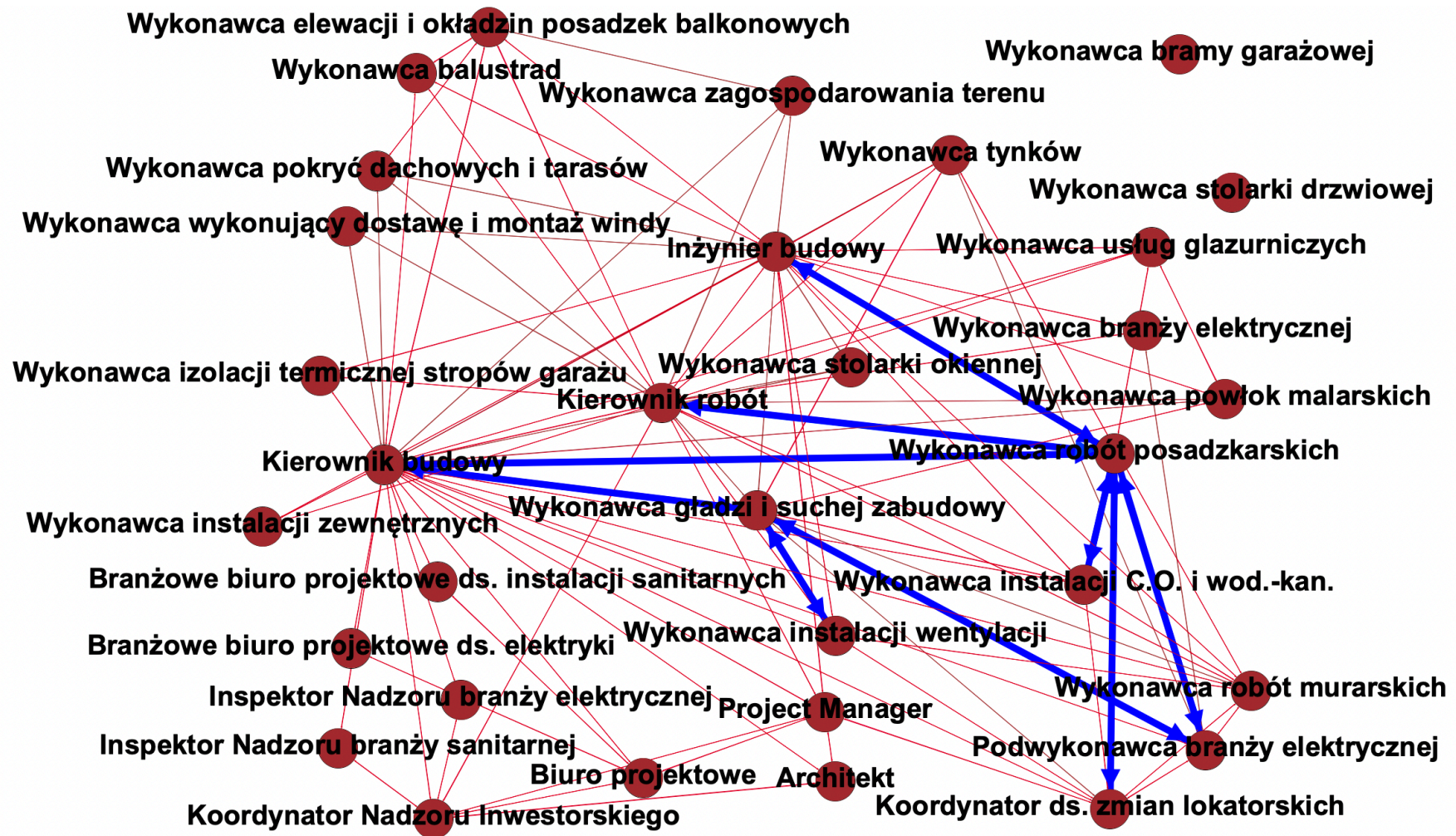
Rys. 40. Sieć komunikacji uczestników – optymalna sieć komunikacji ze względu na minimalizację kosztu wymaganej komunikacji w drugim miesiącu po reorganizacji, z uwzględnieniem rzeczywistej sieci komunikacji z listopada. Gęstość sieci 0,197. Najwyższy stopień centralności 0,875 (Kierownik Budowy). Opracowanie własne

4. Wykorzystując opracowany algorytm czasowo-kosztowy, wykonano weryfikację najbardziej istotnych kanałów komunikacyjnych między uczestnikami pod względem ich wpływu na czas (rys. 41 i 42) oraz koszt (rys. 43 i 44) realizacji przedsięwzięcia w planowanym okresie jego realizacji (drugi miesiąc po reorganizacji).



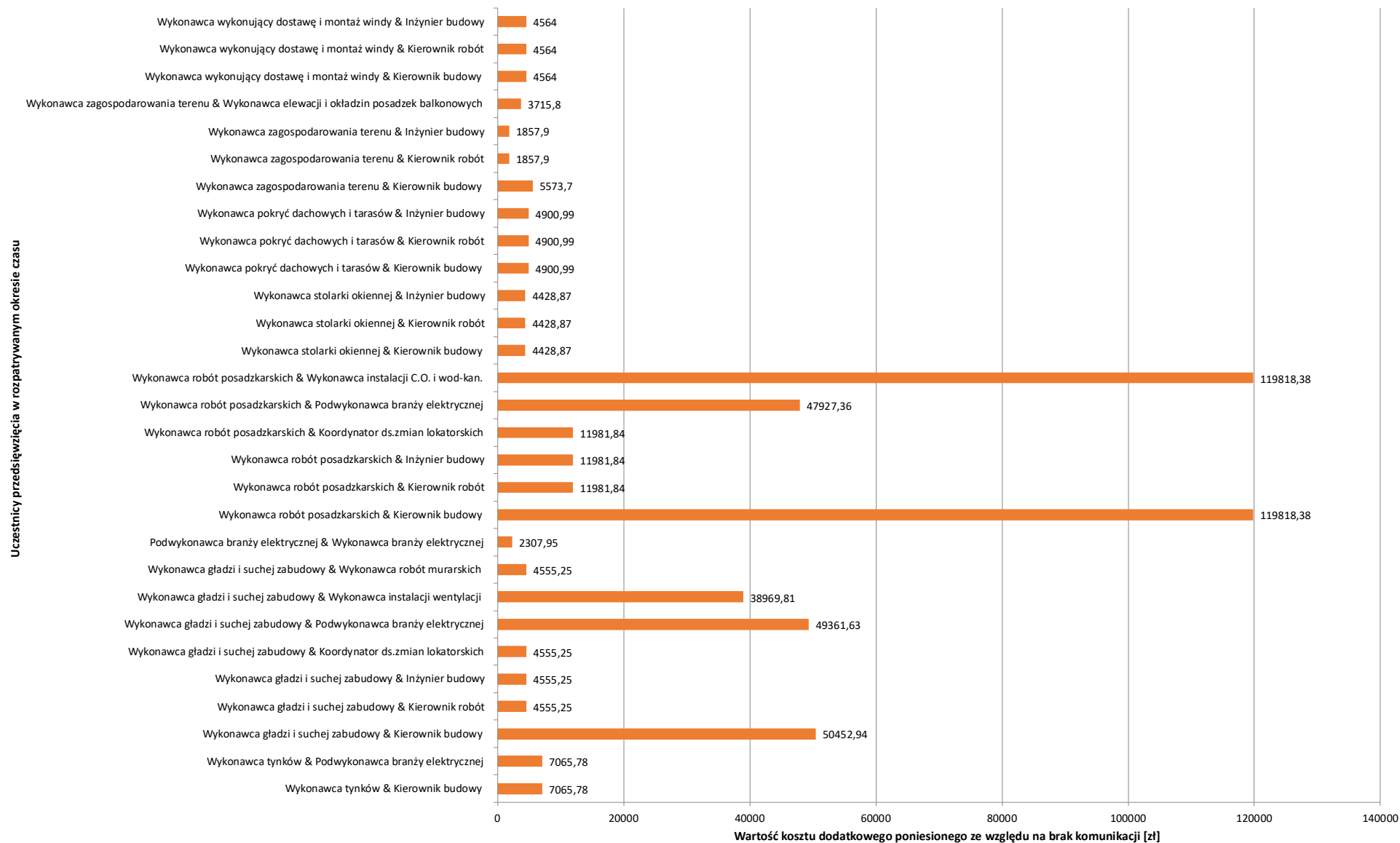
Rys. 41. Szacowane wydłużenie czasu realizacji przedsięwzięcia w przypadku braku kanałów komunikacyjnych pomiędzy uczestnikami. Zadania przez nich realizowane znajdują się na ścieżce krytycznej rozpatrywanego okresu (drugi miesiąc po reorganizacji).

Opracowanie własne

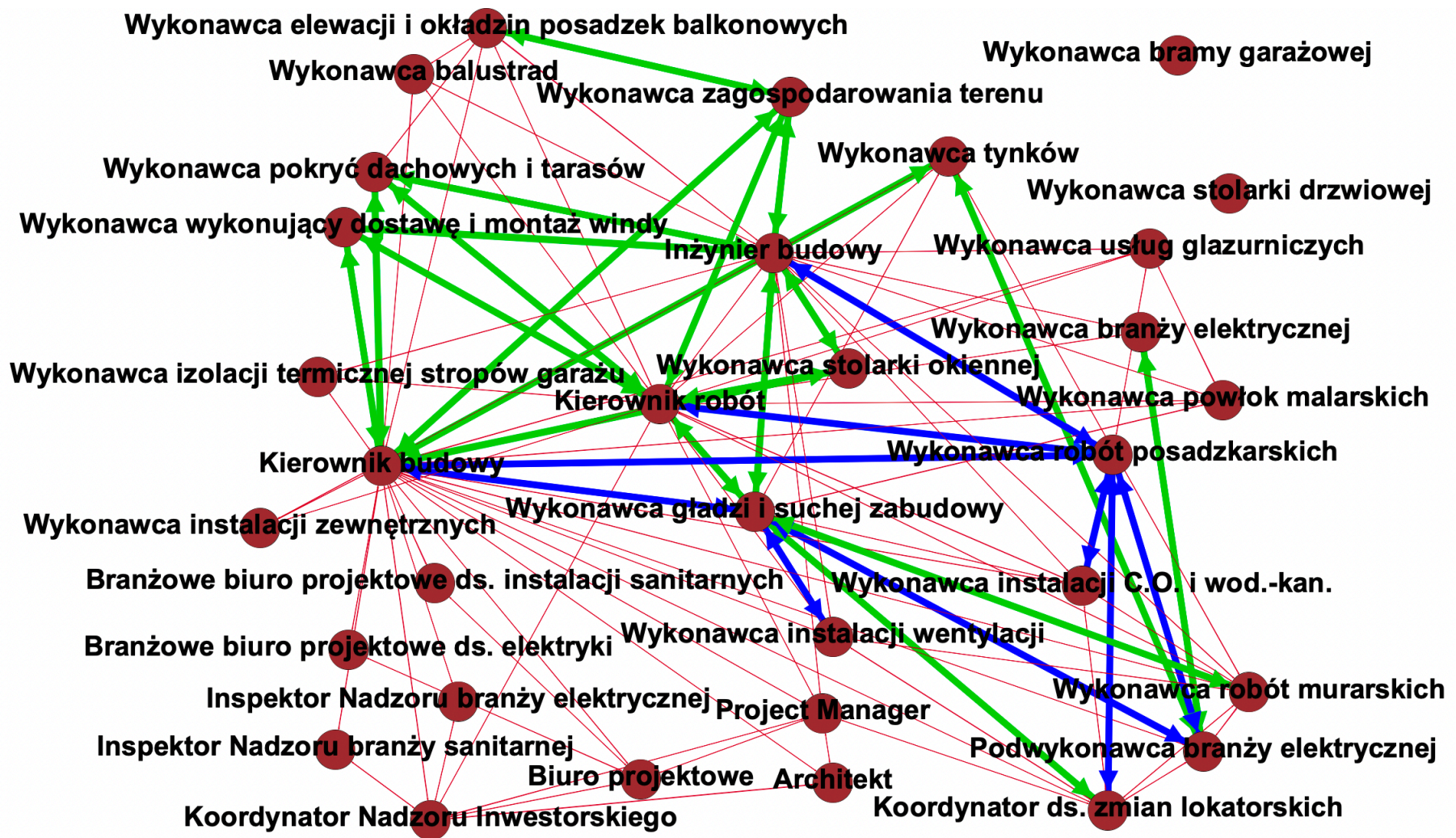


Rys. 42. Sieć komunikacji uczestników – optymalna sieć komunikacji ze względu na minimalizację kosztu wymaganej komunikacji w drugim miesiącu po reorganizacji, z uwzględnieniem kanałów komunikacyjnych, których brak spowoduje wydłużenie czasu realizacji prac w rozpatrywanym okresie.

Opracowanie własne



Rys. 43. Szacowany wzrost kosztów przedsięwzięcia w przypadku braku komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego w planowanym drugim miesiącu po reorganizacji. Opracowanie własne



Rys. 44. Sieć komunikacji uczestników – optymalna sieć komunikacji ze względu na minimalizację kosztu wymaganej komunikacji w drugim miesiącu po reorganizacji, z uwzględnieniem kanałów komunikacyjnych, których brak spowoduje wydłużenie czasu i wzrost kosztu (kolor niebieski) oraz wzrost kosztu (kolor zielony) realizacji przedsięwzięcia w rozpatrywanym okresie. Opracowanie własne

5. Wdrożenie planu optymalnej wymaganej komunikacji dla najbliższego planowanego okresu realizacji przedsięwzięcia. Następnie monitorowanie komunikacji w danym okresie, ze szczególnym uwzględnieniem kluczowych kanałów wpływających na czas i koszt realizacji.

6.4. Omówienie otrzymanych wyników

W wyniku przeprowadzonej analizy pokazano, że komunikacja w sieci uczestników fazy realizacji przedsięwzięcia budowlanego jest dynamiczna, ponieważ stale się zmienia (ewoluuje) i dostosowuje do realizowanych celów przedsięwzięcia. W wyniku analizy strukturalnej metasieci z rzeczywistą siecią komunikacji w pierwszym miesiącu po reorganizacji zwrócono uwagę na istotne nieprawidłowości w komunikacji. Analizując przedmiotową sieć w oparciu o wartości podstawowych miar strukturalnych, zauważono, że gęstość sieci rzeczywistej w pierwszym miesiącu po reorganizacji jest wyższa od jej optymalnej wersji, co generuje dodatkowy koszt komunikacji ze względu na jej nadmiarowość. Istotną różnicą w obu tych sieciach jest fakt, że w rzeczywistej sieci komunikacji centralną postacią jest Koordynator Nadzoru Inwestorskiego, natomiast w sieci optymalnej, zarówno w pierwszym, jak i drugim miesiącu po reorganizacji, najwyższy stopień centralności posiada Kierownik Budowy, który był zdecydowanie mało skomunikowany w sieci rzeczywistej komunikacji (stopień centralności Kierownika Budowy 0,535 w sieci rzeczywistej w pierwszym miesiącu po reorganizacji oraz 0,929 w sieci optymalnej w drugim miesiącu po reorganizacji). Istotny wpływ na takie wyniki miało zastosowanie zarówno formalnej struktury organizacyjnej, jak i uwzględnienie rzeczywistej sieci komunikacji oraz uwzględnienie wiedzy posiadanej przez kierownika, a niezbędnej do realizacji zadań. W kolejnym kroku otrzymano informacje o kluczowych kanałach komunikacyjnych, na utrzymanie których należy zwrócić uwagę w pierwszej kolejności. Szczególnie istotnymi kanałami komunikacyjnymi w planowanym okresie (drugi miesiąc po reorganizacji) w kontekście czasu realizacji przedsięwzięcia okazało się dziewięć łączy, z których najdłuższy okres opóźnienia spowodowałby brak komunikacji pomiędzy kierownikiem budowy i wykonawcą posadzek jastrychowych oraz pomiędzy wykonawcą posadzek i wykonawcą instalacji sanitarnych (C.O., wod.-kan.). Liczba istotnych kanałów komunikacyjnych w kontekście czasu realizacji przedsięwzięcia różni się znacząco od ilości kluczowej komunikacji w kontekście kosztu. Spowodowane jest to tym, że tylko

kanały komunikacyjne wpływające na realizację zadań na ścieżce krytycznej powodują wydłużenie czasu realizacji. Natomiast wzrost kosztu realizacji każdego z zadań, spowodowane brakiem komunikacji, wpływa na sumaryczny szacowany koszt przedsięwzięcia.

Przedstawione studium przypadku potwierdza, jak istotna jest komunikacja podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych i efektywne nią zarządzanie. W praktyce badania tego typu warto wykonywać przez cały okres trwania przedsięwzięcia budowlanego. Ze względu na fakt, że przedsięwzięcia te są tymczasowe i dynamiczne, należy przez takie badania monitorować zmieniającą się w czasie sieć komunikacji, a ewentualna interwencja kadry menadżerskiej w strukturę sieci połączeń pomiędzy uczestnikami, wiedzą i zadaniami powinna być przeprowadzona w sposób optymalny z punktu widzenia kosztów komunikacji. Podczas monitorowania komunikacji należy zwracać uwagę przede wszystkim na krytyczne kanały komunikacyjne, których brak może spowodować wydłużenie czasu realizacji oraz wzrost kosztu przedsięwzięcia. Opracowany w tym celu model optymalizacyjny, dzięki zastosowaniu analizy metasieci, może zatem wspomagać decydenta w efektywnym zarządzaniu komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.

7. Podsumowanie

7.1. Wnioski

W pracy podjęto problematykę związaną z komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych.

W rozprawie dokonano szczegółowego przeglądu literatury związanej z powyższą problematyką oraz przeprowadzono badania ankietowe na dużej grupie praktyków, umożliwiające weryfikację istotności problemów związanych z komunikacją w procesie inwestycyjnym, a zwłaszcza na etapie realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Analiza zgodności opinii ekspertów pozwoliła na sformułowanie ogólnych wniosków dotyczących stanu problemów z komunikacją w polskich przedsięwzięciach budowlanych.

Z przeprowadzonej analizy wyciągnięto następujące wnioski:

1. Komunikacja wpływa na istotne aspekty przedsięwzięcia budowlanego, takie jak np. czas realizacji, koszt realizacji, jakość wykonywanych prac, bezpieczeństwo i higiena pracy, partnerstwo czy logistyka.
2. Komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych należy zarządzać, aby osiągnąć sukces całego przedsięwzięcia. Zarządzanie komunikacją jest wymieniane na równi z innymi zakresami zarządzania, jak np. zarządzaniem ryzykiem w przedsięwzięciu czy zarządzaniem zasobami itd.
3. Niezbędne jest zastosowanie metod wspomagających zarządzanie komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia, aby prowadzić je w sposób efektywny, przeciwdziałający chaosowi i przeciążeniu informacyjnemu w przedsięwzięciu.
4. Ze względu na złożony, tymczasowy i dynamiczny charakter przedsięwzięć budowlanych utrudnione jest jednak zastosowanie metod do zarządzania przepływem informacji, które sprawdziły się w innych gałęziach gospodarki.
5. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że większość badań przedstawionych w literaturze dotyczącej tematu komunikacji w budownictwie ma charakter jakościowy, brakuje natomiast podejść ilościowych oceny komunikacji i jej wpływu na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia budowlanego.
6. Złożoność przedmiotowego problemu determinuje zatem konieczność uwzględnienia w opracowanej metodzie współzależności pomiędzy uczestnikami, zadaniami i wiedzą, co prowadzi do przyjęcia metasieciowej struktury rozważanego problemu.

Cel główny pracy, jakim jest opracowanie metasieciowego podejścia do planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego, został osiągnięty. Zastosowanie struktury sieciowego powiązania pomiędzy uczestnikami, zadaniami i wiedzą pozwoliło w kompleksowy sposób przedstawić wzajemne współzależności w ramach przedsięwzięcia budowlanego. Zastosowanie teorii metasieci w opracowanym modelu optymalizacyjnym pozwoliło na ujęcie tematu komunikacji w dotąd nierozpatrywany, czyli ilościowy, sposób i określenie jej wpływu na czas i koszt przedsięwzięcia. Na podstawie opracowanego algorytmu możliwa była implementacja komputerowa modelu, pozwalająca na zautomatyzowanie obliczeń na potrzeby jego praktycznego zastosowania. Zrealizowanie wyżej wymienionych celów, w tym weryfikacja opracowanego podejścia, przedstawiona na konkretnym przykładzie realizacji budowy osiedla mieszkaniowego Bytkowska Park w Katowicach, potwierdziła słuszność zawartych w pracy tez.

Opracowane podejście do planowania i monitorowania komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego jest pierwszym narzędziem wspomagającym zarządzanie komunikacją i przepływem informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego, uwzględniającym optymalizację kanałów komunikacji i ocenę wpływu tej komunikacji na planowany czas i koszt realizacji przedsięwzięcia.

Należy jednak pamiętać, że stosowanie powyższego podejścia wymaga od zarządzającego przedsięwzięciem budowlanym dużego doświadczenia i zaangażowania. Istotne jest, aby osoba zarządzająca komunikacją znała przedsięwzięcie i uczestników, potrafiła w trafny sposób ocenić sytuację i zareagować w przypadku niespodziewanych wydarzeń. Dlatego równie ważnym etapem jak planowanie jest etap monitorowania komunikacji, który również został uwzględniony w ramach niniejszej rozprawy.

W ostatecznym rozrachunku skuteczność podejścia zależy od kompetencji osób zarządzających przedsięwzięciem w zakresie rozwiązywania zidentyfikowanych problemów i poszukiwania usprawnień komunikacyjnych w przedsięwzięciach budowlanych.

7.2. Osiągnięcia metodyczne

Podstawowym osiągnięciem metodycznym jest opracowanie podejścia do planowania i monitorowania komunikacji wraz z analizą czasowo-kosztową jej wpływu na przedsięwzięcie budowlane, bazującego na zaczerpniętej z literatury teorii metasieci.

Wkład własny autorki w ramach osiągnięć metodycznych obejmuje:

1. Krytyczną analizę stanu wiedzy w zakresie problemu komunikacji w budownictwie, jej wpływu na główne aspekty przedsięwzięcia budowlanego, czyli: czas, koszt, jakość, BHP, partnerstwo i logistykę, jak również omówienie potrzeby zarządzania komunikacją, metod wspomagania komputerowego, aspektów formalnej i samoorganizującej się komunikacji oraz wykazanie potrzeb badawczych w zakresie komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.
2. Badania ankietowe, przeprowadzone na licznej grupie praktyków, dotyczące aspektów komunikacji w polskich przedsięwzięciach budowlanych, jej wpływu na sukces, pojawiających się problemach i ewentualnych potrzebach w tym kontekście.
3. Weryfikację otrzymanych wyników badania ankietowego z wykorzystaniem współczynnika konkordancji Kendalla na potrzeby oceny zgodności opinii respondentów.
4. Krytyczną analizę stanu wiedzy dotyczącej zastosowania podejścia sieciowego w kontekście komunikacji w budownictwie.
5. Zebranie i przedstawienie miar strukturalnych metasieci wraz z ich analizą do oceny komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym.
6. Opracowanie metasieciowego modelu optymalizacji komunikacji ze względu na liczbę kanałów (co jest związane z efektywnością komunikacji) pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego, z uwzględnieniem czynników determinujących komunikację (takich jak wiedza, zadania).
7. Opracowanie algorytmu analizy czasowo-kosztowej z wykorzystaniem teorii metasieci; w badaniach wskazano na istotny wpływ komunikacji na przedsięwzięcie budowlane w aspekcie czasu i kosztu jego realizacji, jednak brakowało modeli, które w sposób ilościowy określałyby ten wpływ.
8. W celu określenia wydłużenia realizacji przedsięwzięcia i wyznaczenia ścieżki krytycznej wykorzystanie metody analizy ścieżki krytycznej (CPM) zintegrowanej z opracowanym algorytmem.

7.3. Osiągnięcia praktyczne

Opracowane podejście umożliwia zarządzanie komunikacją w sposób dynamiczny, analogicznie do planowania i monitorowania harmonogramu rzeczowo-finansowego. Przedsięwzięcie budowlane zmienia się w czasie: kolejne zadania zaczynają się i kończą,

uczestnicy dołączają do zespołu i go opuszczają, pojawia się nowa wiedza w przedsięwzięciu. Opracowane podejście w związku z powyższym jest użyteczne i może zostać wykorzystane w określonych odstępach czasu.

Efektem praktycznym jest zautomatyzowanie obliczeń przez implementację komputerową, zrealizowaną przez informatyka na podstawie opracowanej przez autorkę koncepcji działania programu, czyniąc z niej użyteczne narzędzie do wykorzystywania w praktyce przez zarządzających procesem budowlanym. Implementacja komputerowa została opracowana w środowisku programistycznym Python. Kody źródłowe zamieszczono w załączniku nr 1 do niniejszej pracy. Program składa się z dwóch niezależnych modułów obliczeniowych:

- modułu pozwalającego na wyznaczenie optymalnej pod względem liczby kanałów sieci komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego,
- modułu związanego z analizą wpływu komunikacji na czas i koszt rozważanego przedsięwzięcia.

Zaproponowane w rozprawie metasieciowe podejście do zarządzania komunikacją zostało poddane weryfikacji operacyjnej, polegającej na prezentacji działania opracowanej metody na wybranym przykładzie budowy osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego Bytkowska Park w Katowicach.

Opracowany w pracy model optymalizacyjny z analizą czasowo-kosztową wraz z jego implementacją komputerową wpisuje się zatem w potrzeby wspomagania zarządzania komunikacją w przedsięwzięciach budowlanych.

Należy podkreślić, że zarówno algorytm, jak i jego implementacja komputerowa mają charakter uniwersalny i pozwalają na analizowanie (w ramach poprawnie zdefiniowanych danych wejściowych) różnych przedsięwzięć budowlanych.

7.4. Kierunki dalszych badań

Zaproponowane w niniejszej rozprawie podejście do zarządzania komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego zdaniem autorki powinno być rozwijane. Wskazuje się następujące kierunki dalszych badań:

- Dalsze testowanie opracowanego systemu wspomagającego zarządzanie komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć budowlanych, zwłaszcza na przykładach dużych przedsięwzięć budowlanych.

- Integracja i implementacja metody w środowisku BIM, ułatwiający przepływ informacji pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego.
- Zautomatyzowanie zbierania informacji o rzeczywistej komunikacji pomiędzy poszczególnymi uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Autorka jest świadoma, że zastosowana metoda ankiety do uzyskania informacji na temat, kto się z kim komunikował, do jakiej wiedzy ma dostęp oraz jakie informacje są mu niezbędne do realizacji powierzonych zadań, może wprowadzać pewne nieścisłości ze względu na naturę człowieka, np. chęć zatajenia jakiejś informacji lub próbę przedstawienia się uczestnikom w jak najlepszym świetle. Wszystko to sprawia, że dane wejściowe mogą nie być w pełni wiarygodne i precyzyjne.
- Ważnym aspektem, nad którym należy pracować w przyszłości, byłaby analiza komunikacji ze względu na jej kontekst i w związku z tym możliwość powstania wielu optymalnych sieci komunikacji w danym okresie, np. komunikacja związana z rozliczeniem finansowym, komunikacja związana z rozliczeniem rzeczowym, komunikacja związana z BHP itp.
- Następnym elementem byłoby również rozróżnienie ważności informacji, co pozwoliłoby zwrócić uwagę na przekazywanie najbardziej istotnych wiadomości w pierwszej kolejności.

Bibliografia

- Aaltonen K., Jaakko K., Tuomas O. (2008), *Stakeholder salience in global projects*, International Journal of Project Management, 26(5), 509–516.
- Aasrum J., Lædre O., Svalestuen F., Lohne J., Plaum S. (2016), *Communication in Building Design Management: A Comparative Study of Norway and Germany*, [in:] Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect. 4, 43–52.
- Abbsaian-Hosseini S.A., Liu M., Hsiang S.M. (2017), *Social network analysis for construction crews*, International Journal of Construction Management, 19(2), 1–15.
- Abudayyeh O. (1994), *Partnering: A team building approach to quality construction management*, Journal of Management in Engineering, 10(6), 26–29.
- Ahankoob A., Manley K., Abbasnejad B. (2019), *The role of contractors' building information modelling (BIM) experience in realising the potential values of BIM*, International Journal of Construction Management, 22(4), 588–599.
- Aiyewalehinmi E. (2013), *Factor Analysis of Communication in the Construction Industry*, The International Journal of Engineering and Science, 2(10), 49–57.
- Al-Zubaidi A., Dheyaa E. (2019), *Project management information system effect decision making in the construction industry of Iraq*, Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN), 7, 1924–1932.
- Albert A., Hallowell M. (2017), *Modeling the Role of Social Networks on Hazard Recognition and Communication*, Practice Periodical on Structural Design and Construction, 22(4).
- Alexanderson G. (2006), *Euler and Königsberg's bridges: a historical view*, Bulletin of the American Mathematical Society, 43(4), 567–573.
- Alsafouri S., Ayer S.K. (2018), *Review of ICT Implementations for Facilitating Information Flow between Virtual Models and Construction Project Sites*, Automation in Construction, 86, 176–189.
- Alsamadani R., Hallowell M.R., Javernick-Will A., Cabello J. (2013), *Relationships among language proficiency, communication patterns, and safety performance in small work crews in the United States*, Journal of Construction Engineering and Management, 139 (9), 1125–1134.
- Alsamadani R., Hallowell M., Javernick-Will A.N. (2013), *Measuring and modelling safety communication in small work crews in the US using social network analysis*, Construction Management and Economics, 31(6), 568–579.
- Amoatey C.T., Anson A. (2017), *Investigating the major causes of scope creep in real estate construction projects in Ghana*, Journal of Facilities Management, 15(4), 393–408.

- Anumba C.J., Evbuomwan N.F.O. (1999), *A taxonomy for communication facets in concurrent life-cycle design and construction*, Computer-aided civil and infrastructure engineering, 14, 37–44.
- Arriagada D.R.E., Alarcón C.L.F. (2014), *Knowledge Management and Maturation Model in Construction Companies*, Journal of Construction Engineering and Management, 140(4), B4013006-1–B4013006-10.
- Ashworth M., Carley K.M. (2006), *Who you know vs. what you know: The impact of social position and knowledge on team performance*, Journal of Mathematical Sociology, 30(1), 43–75.
- Assaf S.A., Al-Hejji S. (2006), *Causes of delay in large construction projects*, International journal of project management, 24(4), 349–357.
- Aubert B., Hooper V., Schnepel A. (2013), *Revisiting the role of communication quality in ERP project success*, American Journal of Business, 28(1), 64–85.
- Austin S., Baldwin A., Newton A. (1993), *Modelling design information in a design and build environment*, Association of Researchers in Construction Management, 9th Annual Conference, Oxford University, 73–84.
- Austin S., Baldwin A., Newton A. (1996), *A data flow model to plan and manage the building design process*, Journal of Engineering Design, 7(1), 3–24.
- Autodesk Raport BIM (2019),
https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/bim-event/BIM_raport_final.pdf.
- Ayodele O.E., Ayodele V.O. (2008), *Communications in the building industry of Nigeria – implications for clients*, Continental J. Applied Sciences, 3, 51–56.
- Azam M.A.M., Ross A.D., Fortune C.J., Jaggar D. (1998), *An information strategy to support effective construction design decision making*, [in:] W. Hughes (ed.), 14th Annual ARCOM Conference, 9–11 September 1998, University of Reading, Association of Researchers in Construction Management, 1, 248–257.
- Baccarini D. (1996), *The concept of project complexity – A review*, International Journal of Project Management, 14(4), 201–204.
- Baguley P. (1994), *Effective Communication for Modern Businesses*, McGraw-Hill, London.
- Baldwin A.N., Austin S.A., Hassan T.M., Thorpe A. (1998), *Planning building design by simulating information*, Automation in Construction, 8, 149–163.
- Baldwin A.N., Austin S.A., Murray M.A.P. (1998), *Improving design management in the building industry*, [in:] A.H.B. Duffy (ed.), *The design productivity debate*, Springer, London, 255–267.
- Barabasi A.L., Albert R. (1999), *Emergence of scaling in random networks*, IEEE Transactions on Communications Systems, 12(1), 509–512.

- Berenger Y.R., Justus N.A. (2016), *The Issue of Communication in the Construction Industry: A case of South Africa*, [in:] O.J. Ebohon, D.A. Ayeni, C.O. Egbu, F.K. Omole, *Procs. of the Joint International Conference (JIC) on 21st Century Human Habitat: Issues, Sustainability and Development*, 21-24 March 2016, Akure, Nigeria, 1729–1738.
- Betney T. (1997), *Poor communication causes defects*, *Construction Manager*, 3(5), 5.
- Black C., Akintoye A., Fitzgerald E. (2000), *An analysis of success factors and benefits of partnering in construction*, *International Journal of Project Management*, 18(6), 423–434.
- Bodensteiner W.D. (1970), *Information channel utilization under varying research and development project conditions: an aspect of inter-organizational communication channel usage*, PhD Thesis, The University of Texas, Austin, TX.
- Bogusz W., Połowski M., Pruszyński K. (2018), *Planowanie i kontrola budowlanego procesu inwestycyjnego*, [w:] M. Połowski (red.), *Kierowanie budowlanym procesem inwestycyjnym*, Wydawnictwo SGGW, 50–62.
- Boldkowski J. (2015), *BIM – przełom w metodach projektowania i nie tylko... Buduj z głową*, *Kwartalnik Kosztorysanta*, 04/2015.
- Borgatti S., Everett M. (1997), *Network analysis of 2-mode data*, *Social Networks*, 19(3), 243–269.
- Borgatti S.P., Foster P.C. (2003), *The network paradigm in organizational research: a review and typology*, *Journal of Management*, 29(6), 991–1013.
- Bowen P., Edwards P. (1996), *Interpersonal communication in cost planning during the building design phase*, *Construction Management and Economics*, 14, 395–404.
- Brookes N.J., Morton S.C., Dainty A., Burns N.D. (2006), *Social processes, patterns and practices and project knowledge management: a theoretical framework and an empirical investigation*, *International Journal of Project Management*, 24(6), 474–482.
- Browning T.R., Deyst J.J., Eppinger S.D., Whitney D.E. (2002), *Adding value in product development by creating information and reducing risk*, *IEEE Trans. Engineering Management*, 49, 443–458.
- Building E.D.C. (1987), *Achieving quality on building sites*, NEDO, London.
- Butt A., Naaranoja M., Savolainen J. (2016), *Project change stakeholder communication*, *International Journal of Project Management*, 34(8), 1579–1595.
- Cabała P. (2010), *Zastosowanie współczynnika konkordancji w pomiarze zgodności ocen ekspertów*, *Przegląd Statystyczny*, 57(2–3), 36–52.
- Caltrans (2007), *Project Management Handbook*, 2nd Ed., Office of Project Management Process Improvement.
- Calvert R.E., Bailey G., Coles D. (1995), *Introduction to Building Management*, 6th Ed., Laxton's, Oxford.

- Carley K.M. (2002a), *Computational organizational science and organizational engineering*, Simulation Modelling Practice and Theory, 10(5–7), 253–269.
- Carley K.M. (2002b), *Intraorganizational complexity and computation*, [in:] J. Baum (ed.), *The Blackwell companion to organizations*, Wiley Blackwell, NJ, 208–232.
- Carley K.M. (2002c), *Smart agents and organizations of the future*, [in:] L. Lievrouw, S. Livingstone (eds.), *The Handbook of New Media: Social Shaping and Consequences of ICTs*, 206–220.
- Carley K.M. (2003), *Dynamic network analysis*, [in:] P. Pattison, K.M. Carley, R. Breiger (eds.), *Dynamic Social Network Modeling and Analysis Workshop Summary and Papers*, National Academies Press, Washington D.C., 133–145.
- Carley K.M. (2005), *Dynamic network analysis for counter-terrorism*, niepublikowany maszynopis.
- Chan A.P.C., Chan D.W.M., Chiang Y.H., Tang B.S., Chan E.H.W., Ho K.S.K. (2004), *Exploring critical success factors for partnering in construction projects*, Journal of Construction Engineering and Management, 130(2), 188–198.
- Chen Y., Kamara J. (2008), *The Mechanisms of Information Communication on Construction Sites*, FORUM Ejournal, 8, 1–32.
- Cheng E., Li H. (2002), *Construction partnering process and associated critical success factors: Quantitative investigation*, Journal of Management in Engineering, 18(4), 194–202.
- Cheng E.W.L., Li H., Love P.E.D. (2000), *Establishment of critical success factors for construction partnering*, Journal of Management in Engineering, 16(2), 84–92.
- Cheng E.W.L., Li H., Love P.E.D., Irani Z. (2001), *Network communication in the construction industry*, Corporate Communications: An International Journal, 6(2), 61–70.
- Cheung S., Yiu T.W., Lam M.C. (2013), *Interweaving Trust and Communication with Project Performance*, Journal of Construction Engineering and Management, 139(8), 941–950.
- Chinowsky P., Diekmann J., Galotti V. (2008), *Social network model of construction*, Journal of Construction Engineering and Management, 134(10), 804–812.
- Chinowsky P., Taylor J.E. (2012), *Networks in engineering: an emerging approach to project organization studies*, Engineering Project Organization Journal, 2(1–2), 15–26.
- Chinowsky P., Taylor J.E., Di Marco M. (2011), *Project network interdependency alignment: new approach to assessing project effectiveness*, Journal of Management in Engineering, 27(3), 170–178.
- Chinowsky P.S., Diekmann J., O'Brien J. (2010), *Project organizations as social networks*, Journal of Construction Engineering and Management, 136(4), 452–458.
- Chiu M.L. (2002), *An organizational view of design communication in design collaboration*, Design Studies, 23(2), 187–210.

- Chowdhury A.N., Chen P.H., Tiong R.L. (2011), *Analysing the structure of public-private partnership projects using network theory*, Construction Management and Economics, 29(3), 247–260.
- Cleland D., Kerzner H. (1985), *A Project Management Dictionary of Terms*, Van Nostrand Reinhold.
- Construction Industry Institute (CII) (1991), *In search of partnering excellence. Special Publication*, No. 17–1, Partnering Task Force of CII, Austin, Texas.
- Construction Industry Institute (CII) (2001), *The field rework index: Early warning for field rework and cost growth*, RS 153-1 (May), The Univ. of Texas at Austin, Austin, Texas.
- Construction Industry Institute (CII) (2005), *Making zero rework A reality*, RS 203-1 (Nov.), The Univ. of Texas at Austin, Austin, Texas.
- Cook M., Pasquire C. (2001), *The relationship between the management of design projects and improved performance in the building services sector of the construction industry*, Association of Researchers in Construction Management, 17th Annual Conference, 5–7 September, University of Salford, 723–730.
- Cowan C., Gray C., Larson E. (1992), *Project partnering*, Project Management Journal, 22(4), 5–12.
- Crichton C. (ed.) (1966), *Interdependence and Uncertainty: A study of the Building Industry*, 1st ed., Routledge, Tavistock Publications, London.
- Cross R., Prusak L. (2002), *The people that make organisations stop – or go*, Harvard Business Review, 80(6), 104–112.
- Crowley L.G., Karim M.A. (1995), *Conceptual model of partnering*, Journal of Management in Engineering, 11(5), 33–39.
- Čulo K., Skendrović V. (2010), *Communication management is critical for project success*, Informatol., 43(3), 228–235.
- Czarnigowska A., Sobotka A. (2011), *Metoda planowania i kontrolowania realizacji przedsięwzięć budowlanych: Studium Przypadku*, Górnictwo i Geoinżynieria, 35, 1, 37–56.
- Dainty A., Moore D., Murray M. (2006), *Communication in construction: theory and practice*, Taylor&Francis.
- Davenport T., Prusak L. (1997), *Information Ecology*, Oxford University Press, Oxford.
- Dawood N., Akinsola A., Hobbs B. (2002), *Development of automated communication of system for managing site information using internet technology*, Automation in Construction, 11, 557–572.
- De Meyer A., Loch C.H., Pich M.T. (2002), *Managing project uncertainty: From variation to chaos*, IEEE Engineering Management Review, 43(3), 60–67.

- Demirkesen S., Ozorhon B. (2017), *Measuring Project Management Performance: Case of Construction Industry*, Engineering Management Journal, 29(4), 258–277.
- Den Otter A., Emmitt S. (2007), *Exploring effectiveness of team communication: balancing synchronous and asynchronous communication in design teams*, ECAM: Engineering, Construction and Architectural Management, Bradford, U.K., 14(5), 408–419.
- Den Otter A.F., Prins M. (2002), *Architectural design management within the digital design team*, Engineering Construction and Architectural Management, 9(3), 162–173.
- DeVilbiss C.E., Leonard P. (2000), *Partnering is the foundation of a learning organization*, Journal of Management in Engineering, 16(4), 47–57.
- Di Marco M.K., Taylor J.E., Alin P. (2010), *Emergence and role of cultural boundary spanners in global engineering project networks*, Journal of Management in Engineering, 26(3), 123–132.
- Djajalaksana M.L., Zekavat P.R., Moonc S. (2017), *Effectiveness of On-Site Communication in Residential Housing Projects*, ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Waterloo, 34, 1-6, IAARC Publications, Waterloo.
- Dogan S.Z., Arditi D., Gunhan S., Erbasaranoglu B. (2015), *Assessing coordination performance based on centrality in an e-mail communication network*, Journal of Management in Engineering, 31(3).
- Durdyev S. (2020), *Review of construction journals on causes of project cost overruns*, Engineering, Construction and Architectural Management, 28(4), 1241–1260.
- Durdyev S., Hosseini M. (2019), *Causes of delays on construction projects: a comprehensive list*, International Journal of Managing Projects in Business, 13(1), 20–46.
- Edmunds A., Morris A. (2000), *The problem of information overload in business organizations: A review of literature*, Information Management, 20, 17–28.
- Effken J.A., Carley K.M., Gephart S., Verran J.A., Bianchi D., Reminga J., Brewer B.B. (2011), *Using ORA to explore the relationship of nursing unit communication to patient safety and quality outcomes*, International Journal of Medical Informatics, 80(7), 507–517.
- Eisenberg E.M., Goodall H.L., Jr. (1993), *Organizational communication: Balancing creativity and constraint*, St. Martin's Press, New York, NY.
- El-Sheikh A., Pryke S. (2010), *Network gaps and project success*, Construction Management and Economics, 28(12), 1205–1217.
- Emmitt S. (2010), *Managing interdisciplinary projects: a primer for architecture, engineering and construction*, Spon Press, London.
- Emmitt S., Gorse C. (2007), *Communication in construction teams*, Taylor&Francis.
- Erdős P., Rényi A., (1959), *On Random Graphs I*, Publicationes Mathematicae Debrecen, 6, 290–297.

- Fawcett S.E., Ellram L.M., Ogden J.A. (2007), *Supply Chain Management. From Vision to Implementation*, Pearson Education, New Jersey.
- Fayek A.R., Dissanayake M., Campero O. (2003), *Measuring and classifying construction field rework: A pilot study*, Construction Owners Association of Alberta _COAA_, The University of Alberta, Edmonton, Canada.
- Flager F., Welle B., Bansal P., Soremekun G., Haymaker J. (2009), *Multidisciplinary Process Integration & Design Optimization of a Classroom Building*, *Information Technology in Construction (ITcon)*, 14, 595–612.
- Freeman L.C. (1979), *Centrality in social networks conceptual clarification*, *Social networks*, 1(3), 215–239.
- Gajzler M., Dziadosz A. (2014), *Koncepcje logistyczne w planowaniu realizacji budowy*, *Logistyka*, 6, 14165–14172.
- Galaz-Delgado E.I., Herrera R.F., Atencio E., Muñoz-La Rivera F., Biotto C.N. (2021), *Problems and Challenges in the Interactions of Design Teams of Construction Projects: A Bibliometric Study*, *Buildings*, 11(10), 461.
- Gamil Y., Rahman I.A. (2017), *Identification of Causes and Effects of Poor Communication in Construction Industry: A Theoretical Review*, *Emerging Science Journal*, 1(4), 239–247.
- Ganbat T., Liao P. (2019), *Meta-Network Modelling for International Construction Risk Management of Multiple Objectives*, *International Conference on Construction and Real Estate Management*, 273–280.
- Gao R., Chan A.P., Utama W.P., Zahoor H. (2016), *Multilevel safety climate and safety performance in the construction industry: development and validation of a top-down mechanism*, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1100.
- Gardounis F., Chong H., Wang X. (2017), *A conceptual framework for Social Network Analysis of Building Information Modelling in construction projects*, *International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS)*, Langkawi, 1–6.
- Gattorna J.L., Walters D.W. (1996), *Managing the Supply Chain. A Strategic Perspective*, Palgrave, Houndmills, Basingstoke.
- Ghosh S., Lee S.K. (2021), *Using Social Network Analysis to Explore Communication among Members of an Integrated Project Delivery Team*, *International Journal of Construction Education and Research*, 1–18.
- Gidado K. (2000), *Flowcharted model for information flow in design and build projects*, [in:] A. Akintoye (ed.), 16th Annual ARCOM Conference, 6–8 September 2000, Glasgow Caledonian University, Association of Researchers in Construction Management, 2, 781–792.

- Goczol J., Scoubeau C. (2003), *Corporate communication and strategy in the field of projects*, Corporate Communications An International Journal, 8(1), 60–66.
- Gorse C.A. (2002), *Effective Interpersonal Communication and Group Interaction During Construction Management and Design Team Meetings*, PhD Thesis, University of Leicester.
- Gorse C.A., Emmitt S., Lewis M. (1999), *Problem solving and appropriate communication medium*, [in:] W. Hughes (ed.), 15th Annual ARCOM Conference, 15–17 September 1999, Liverpool John Moores University, Association of Researchers in Construction Management, 2, 511–518.
- Grzyl B., Apollo M. (2013), *Problemy koordynacji realizacji robót budowlanych na przykładzie rewitalizacji dzielnicy Gdańsk – Letnica*, Inżynierska morska i geotechnika, 5/2013, 345–348.
- Guevara J.M., Boyer L.T. (1981), *Communication problems within construction*, Journal of Construction Engineering, ASCE, 107(CO4), 552–557.
- Gushgari S.K., Francis P.A., Saklou J.H. (1997), *Skills critical to long-term profitability of engineering firms*, Journal of Management in Engineering, 13(2), 46–56.
- Habibi M., Kermanshachi S. (2018), *Phase-based analysis of key cost and schedule performance causes and preventive strategies: Research trends and implications*, Engineering, Construction, and Architectural Management, 25, 1009–1033.
- Habibi M., Kermanshachi S., Rouhanizadeh B. (2019), *Identifying and Measuring Engineering, Procurement, and Construction (EPC) Key Performance Indicators and Management Strategies*, Infrastructures, 4(20), 1–19.
- Habibi M., Kermanshachi S., Safapour E. (2018), *Engineering, Procurement and Construction Cost and Schedule Performance Leading Indicators: State-of-the-Art Review*, Proceedings of Construction Research Congress, ASCE, New Orleans, Louisiana, April 2–4.
- Hallowell M.R. (2011), *Safety-knowledge management in American construction organizations*, Journal of Management in Engineering, 28(2), 203–211.
- Hamilton P.H., Rhodes R.G., Wells C.S. (1997), *Communication in design*, [in:] LIBRARY EDITION. Curriculum for design: Preparation material for design teaching, SEED, Loughborough, 1–20.
- Hamzeh F.R., Tommelein I.D., Ballard G., Kaminsky P. (2007), *Logistics centers to support project based production in the construction industry*, [in:] Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 15, 181–191.
- Handfield R.B., Nichols E.L., Jr. (1999), *Introduction to Supply Chain Management*, Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Hanna A.S., Gunduz M. (2004), *Impact of change orders on small labor-intensive projects*, Journal of Construction Engineering and Management, 130(5), 726–733.

- Hanneman R.A., Riddle M. (2005), *Introduction to social network methods*, University of California, Riverside.
- Harback H.F., Basham D.L., Buhts R.E. (1994), *Partnering paradigm*, *Journal of Management in Engineering*, 10(1), 23–27.
- Harikrishnan A., Abdallah A.S., Ayer A.K., El Asmar M., Tang P. (2021), *Feasibility of augmented reality technology for communication in the construction industry*, *Advanced Engineering Informatics*, 50, 101363.
- Harstad E.B., Lædre O., Svalestuen F., Skhmot N. (2015), *How Tablets Can Improve Communication in Construction Projects*, [in:] *Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction*, Perth, Australia, July 29–31, 391–401.
- Harvey R.C., Ashworth A. (1997), *The Construction Industry of Great Britain*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Heng H.K.S., Loosemore M. (2013), *Structural holes in hospital organisations: facilities managers as intrapreneurial brokers in the tertiary health sector*, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 20(5), 474–487.
- Higgin G., Jessop N. (1965), *Communication in the Building Industry: The Report of a Pilot Study*, Tavistock.
- Hill C.J. (1995), *Communication on construction sites*, Association of Researchers in Construction Management, 11th Annual Conference, 18–20 September, University of York, 232–240.
- Hoezen M., Reymen I., Dewulf G. (2006), *The Problem of Communication in Construction*, Adaptables 2006, TU/e, International Conference On Adaptable Building Structures, Eindhoven, The Netherlands, 3–5 July, 14–19.
- Hofmann D.A., Stetzer A. (1998), *The role of safety climate and communication in accident interpretation: implications for learning from negative events*, *Academy of Management Journal*, 41(6), 644–657.
- Hoła B., Polak A., Gawron K., Sawicki M., Gronowicz W. (2012), *Mapa Wiedzy w zarządzaniu przedsiębiorstwem budowlanym*, *Przegląd Budowlany*, 11/2012, 47–51
- Hopper J.R. (1990), *Human Factors of Project Organisation*, Construction Industry Institute, Austin, Texas.
- Hossain L. (2009a), *Communications and coordination in construction projects*, *Construction Management and Economics*, 27(1), 25–39.
- Hossain L. (2009b), *Effect of organisational position and network centrality on project coordination*, *International Journal of Project Management*, 27, 680–689.
- Hossain L., Wu A. (2009), *Communications network centrality correlates to organisational coordination*, *International Journal of Project Management*, 27(8), 795–811.

- Hosseini R.M., Zavadskas E.K., Xia B., Chileshe N., Mills A. (2017), *Communications in hybrid arrangements: case of Australian construction project teams*, *Engineering economics*, 28(3), 290–300.
- Hu Y., Chan A.P., Le Y., Jin R. (2015), *From construction megaproject management to complex project management: bibliographic analysis*, *Journal of Management in Engineering*, 31(4), 04014052.
- Hussain O. (2012), *Direct cost of scope creep in governmental construction projects in Qatar*, *Global Journal of Management and Business Research*, 12(14), 72–84.
- Hwang B.G., Thomas S.R., Haas C.T., Caldas C.H. (2009), *Measuring the Impact of Rework on Construction Cost Performance*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(3), 187–198.
- Jafari P., Mohamed E., Lee S.H., Abourizk S. (2020), *Social network analysis of change management processes for communication assessment*, *Automation in Construction*, 118, 103292.
- Jaśkowski P., Biruk S. (2010), *Analiza czynników ryzyka czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych*, *Technical Transactions*, 2(107), 157–166.
- Jaśkowski P., Sobotka A., Czarnigowska A. (2018), *Decision model for planning material supply channels in construction*, *Automation in Construction*, 90, 235–242.
- Jaworski B. (2017), *Warunki kontaktowe FIDIC jako wzorce umowne nienormatywnego pochodzenia*, *Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy*, 24(3), 89–101.
- Jeffcott S., Pidgeon N., Weyman A., Walls J. (2006), *Risk, trust, and safety culture in UK train operating companies*, *Risk Analysis: An Official Publication of the Society for Risk Analysis*, 26(5), 1105–1121.
- Jelonek D., Chomiak-Orsa I. (2011), *Nadmiar informacji. Próba identyfikacji problemu w małych i średnich przedsiębiorstwach*, [w:] J. Skalik, A. Barabasz (red.), *Współczesne przeobrażenia procesów zarządczych przedsiębiorstwa*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, 94–101.
- Jelonek D., Nowakowska-Grunt J., Ziora L. (2014), *The Assessment of Construction Project Management Maturity Level in the Silesian Region in Poland*, *Advanced Materials Research*, 1020, 796–802.
- Jeong Y.S., Eastman C.M., Sacks R., Kaner I. (2009), *Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete*, *Automation in Construction*, 18, 469–484.
- Josephson P.E., Larsson B., Li H. (2002), *Illustrative benchmarking rework and rework costs in Swedish construction industry*, *Journal of Management in Engineering*, 18(2), 76–83.
- Kamalirad S., Kermanshachi S., Shane J., Anderson S. (2017), *Assessment of Construction Projects' Impact on Internal Communication of Primary Stakeholders in Complex*

- Projects*, Proceedings for the 6th CSCE International Construction Specialty Conference, Vancouver, Canada, May 31 – June 3.
- Kania E., Radziszewska-Zielina E., Śladowski G. (2020), *Communication and Information Flow in Polish Construction Projects*, Sustainability, 12(21), 9182.
- Kapliński O. (2018), *Specyfika przedsięwzięć budowlanych w kontekście innowacyjnych wyzwań*, [w:] A. Sobotka, E. Radziszewska-Zielina (red.), *Inżynieria przedsięwzięć budowlanych: problemy, modele, metody*, KILiW PAN, Warszawa.
- Kasprowicz T. (2007), *Inżynieria przedsięwzięć budowlanych*, [w:] O. Kapliński (red.), *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*, KILiW PAN, Warszawa.
- Kasprowicz T. (2010), *Proces analizy koncepcyjnej, projektowania, organizacji i realizacji przedsięwzięć budowlanych*, Technical Transactions, 2(107), 177–189.
- Khanzadi M., Nasirzadeh F., Dashti M.S. (2018), *Fuzzy cognitive map approach to analyze causes of change orders in construction projects*, Journal of Construction Engineering and Management, 144(2), 04017111.
- Kietliński W. (2016), *Wybrane aspekty zarządzania procesem inwestycyjnym w budownictwie*, Przegląd Budowlany, 2/2016, 46–49.
- Kines P., Lappalainen J., Mikkelsen K.L., Olsen E., Pousette A., Tharaldsen J., Tomasson K., Törner M. (2011), *Nordic Safety Climate Questionnaire (NOSACQ-50): A new tool for diagnosing occupational safety climate*, International Journal of Industrial Ergonomics, 41, 634–646.
- Kisielnicki J. (2011), *The communication system in project teams: problems of transfer of knowledge and information for the management of IT Projects*, Issues in Informing Science and Information Technology, 8, 351–361.
- Knoke D., Yang S. (2008), *Social Network Analysis*, Sage, London.
- Knoop W.G., Breemen E.J.J.V., Vergeest J.S.M., Wiegers T. (1996), *Enhancing engineering performance through more intensive communication*, [in:] *Third ISPE international conference on concurrent engineering: Research and Applications*, Technomic Publishing Co. Inc., Canada, 31–39.
- Knotten V., Lædre O., Hansen G. (2017), *Building design management – key success factors*, Architectural Engineering and Design Management, 13(6), 479–493.
- Koskela L., Huovila P., Leinonen J. (2002), *Design management in building construction: from theory to practice*, Journal of Construction Research, 3(1), 1–16.
- Kotzé B.G., Berry F.H., Verster J.J.P. (2008), *Communication as a crucial element in project management*, [in:] *Proceedings CD: 12th Pacific Association of Quantity Surveyors (PAQS) Congress on Construction in challenging environments*, Edmonton, June 16–18.
- Krackhardt D., Carley K.M. (1998), *PCANS model of structure in organizations*, Carnegie Mellon University, Institute for Complex Engineered Systems, Pittsburgh, Pa, 113–119.

- Książkiewicz D., Mierkiewicz D. (2015), *Wyzwania związane z organizacją przepływu informacji w łańcuchach dostaw*, *Logistyka*, 3, 5522–5530.
- Kuchta K., Tylek I., Rawska-Skotniczy A. (2017), *Przyczyny i metody zapobiegania błędom ludzkim w inżynierskiej działalności budowlanej. Część I: Klasyfikacja i źródła błędów*, *Przegląd Budowlany*, 5/2017, 17–23.
- Landin E., Kindahl N. (2013), *Information and communication trends in the Swedish construction industry*, Thesis no. 274 Master of Science, Department of Real Estate and Construction Management, Civil Engineering and Urban Management, Stockholm.
- Larsen G.D., Ballal T.M.A. (2005), *The diffusion of innovations within a UKCI context: an explanatory framework*, *Construction Management and Economics*, 23(1), 81–91.
- Larsen J.K., Shen G.Q., Lindhard S.M., Brunoe T.D. (2015), *Factors affecting schedule delay, cost overrun, and quality level in public construction projects*, *Journal of Management in Engineering*, 32(1), 04015032.
- Laufer A., Shapira A., Telem D. (2008), *Communicating in Dynamic Conditions: How Do On-Site Construction Project Managers Do It?*, *Journal of Management in Engineering*, 24(2), 75–86.
- Lee N., Kim Y. (2018), *A conceptual framework for effective communication in construction management: Information processing and visual communication*, *Construction Research Congress*, 531–540.
- Leśniak A. (2020), *Inwestycje według FIDIC. Kryteria wyboru inżyniera kontraktu*, *Builder*, 4(273).
- Leśniak A., Piskorz G. (2018), *Delay factors in execution of design & build construction projects*, *Acta Sci. Pol. Architectura*, 17(4), 113–124.
- Leśniak A., Plebankiewicz E. (2010), *Opóźnienia w robotach budowlanych*, *Zeszyty Naukowe WSOWL*, 3/2010, 332–339.
- Leśniak A., Plebankiewicz E. (2011), *Wybór firmy zarządzającej w realizacji publicznych inwestycji budowlanych*, *Civil and Environmental Engineering*, 2(2011), 573–576.
- Li Q., Ji C., Yuan J., Han R. (2017), *Developing dimensions and key indicators for the safety climate within China's construction teams: a questionnaire survey on construction sites in Nanjing*, *Safety Science*, 93, 266–276.
- Li Y., Lu Y., Kwak Y.H., Le Y., He Q. (2011), *Social network analysis and organizational control in complex projects: construction of EXPO 2010 in China*, *Engineering Project Organization Journal*, 1(4), 223–237.
- Li Y., Lu Y., Li D., Ma L. (2015), *Metanetwork analysis for project task assignment*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(12), 04015044.

- Li Y.K., Qian L.L., He Q.H., Duan Y.F. (2014), *Meta-network Based Fitness Measurement of Projects Organization and Tasks Assignment*, [in:] *Proceedings of the 17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, 643–655.
- Lin S.C. (2014), *An analysis for construction engineering networks*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(5), 04014096.
- Liu J., Li B., Lin B., Nguyen V. (2007), *Key issues and challenges of risk management and insurance in China's construction industry: An empirical study*, *Industrial Management & Data Systems*, 107(3), 382–396.
- Liu M., Chong H., Liao P., Ganbat T. (2021), *Risk-Based Metanetwork Modeling for Sustainable Project Performance in International Construction*, *Journal of Infrastructure Systems*, 27(3), 04021020.
- Liu Y. (2009), *Critical Factors for Managing Project Communication among Participants at the Construction Stage*, PhD Thesis, The Hong Kong Polytechnic University.
- Löfgren A. (2007), *Towards mobile lean communication for production management*, [in:] *Proc. of CIB-W78*, Maribor, Slovenia, June 27–29, 541–548.
- Loosemore M. (1996), *Crisis Management in Building Projects: A Longitudinal Investigation of Communication Behaviour and Patterns Within a Grounded Framework*, PhD Thesis, Department of Construction Management and Engineering, University of Reading.
- Loosemore M. (1997), *Construction crises as periods of social adjustment*, *Journal of Management in Engineering*, 13(4), 30–37.
- Loosemore M. (1998), *Social network analysis: using a quantitative tool within an interpretative context to explore the management of construction crises*, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 5(4), 315–326.
- Love P.E.D., Edwards D.J. (2004), *Forensic project management: The underlying causes of rework in construction projects*, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 21(3), 207–228.
- Love P.E.D., Irani Z., Li H., Cheng E. (2001), *An empirical analysis of IT/IS evaluation in construction*, *Journal of Construction Information Technology*, 8(1), 15–27.
- Love P.E.D., Li H., Mandal P. (1999a), *Rework: A symptom of a dysfunctional supply-chain*, *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 5(1), 1–11.
- Love P.E.D., Mandal P., Li H. (1999b), *Determining the causal structure of rework influences in construction*, *Construction Management and Economics*, 17(4), 505–517.
- Lyu S., Hon C.K.H., Chan A.P.C., Javed A.A., Zhang R.P., Wong F.K.W. (2021), *An exploratory study of safety communication networks of ethnic minority crews in the Hong Kong construction industry*, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(4), 1156–1175.
- Macmillan S. (2001), *The measure of a team*, *Construction Manager*, July/August, 25.

- Malisiovas A., Song X. (2014), *Social Network Analysis (SNA) for Construction Projects' Team Communication Structure Optimization*, Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network.
- Marín L.S., Roelofs C. (2017), *Promoting construction supervisors' safety-efficacy to improve safety climate: training intervention trial*, Journal of Construction Engineering and Management, 143(8), 04017037.
- Marshall-Ponting A.J., Aouad G. (2005), *An nD modelling approach to improve communication processes for construction*, Automation in Construction, 14, 311–321.
- Maurer J.G. (1992), *Foreword*, [in:] J. Noxon (ed.), *Organization Charts*, Gale Research Inc., London.
- McCarty C., Killworth P.D., Bernard H.R., Johnsen E., Gene A.S. (2001), *Comparing two methods for estimating network size*, Human Organisation, 60, 28–39.
- McCulloh I.A., Carley K.M. (2008), *Social network change detection*, No. CMU-ISR-08-116, School of Computer Science, Carnegie-Mellon Univ., Pittsburgh.
- Mead S.P. (2001), *Using social network analysis to visualize project teams*, Project Management Journal, 32(4), 32–38.
- Meadows D. H. (2020), *Myślenie systemowe. Wprowadzenie*, Helion, Gliwice
- Melzner J., Feine I., Hollermann S., Rütz J., Bargstädt H. (2015), *The influence of building information modelling on the communication management of construction projects*, The 15th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, At Banff, Banff, Canada.
- Mendelsohn R. (1997), *The constructibility review process: A constructor's perspective*, Journal of Management in Engineering, 13(3), 17–19.
- Meng X. (2012), *The effect of relationship management on project performance in construction*, International Journal of Project Management, 30(2), 188–198.
- Meyer C. (1993), *Fast cycle time*, Free Press, New York.
- miasto.pro/na-polnocy-katowic-powstaje-ponad-12-tys-mieszkan/.
- Miettinen R., Paavola S. (2014), *Beyond the BIM utopia: Approches to the development and implementation of building information modeling*, Automation in Construction, 43, 84–91.
- Miles R.E., Snow C.C. (1994), *Fit, failure and the hall of fame: How companies succeed or fail*, Free Press, New York.
- Mok K.Y., Shen G.Q., Yang J. (2015), *Stakeholder management studies in mega construction projects: a review and future directions*, International Journal of Project Management, 33(2015), 446–457.
- Moreno J.L. (1934), *Who shall survive?: A new approach to the problem of human interrelations*, Nervous and Mental Disease Publishing Co.

- Motzko C., Mukherjee A., Nowak P.R., Schmitz D. (2014), *Komunikacja w branży budowlanej*, [w:] Ch. Motzko, A. Nicał (red.), *Profesjonalizm i etyka w budownictwie*, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 102–113.
- Mruk H. (red.) (2004), *Komunikowanie się w marketingu*, Polskie Towarzystwo Ekonomiczne, Warszawa.
- Muller R., Turner J.R. (2005), *The impact of principal–agent relationship and contract type on communication between project owner and manager*, *International Journal of Project Management*, 23(2005), 398–403.
- Mutti C.N., Hughes W. (2001), *Contemporary organizational theory in the management of construction projects*, Association of Researchers in Construction Management, 17th Annual Conference, September 5–7, University of Salford, 455–465.
- Nalepka M., Mrozek R. (2017), *Zalety i wady technologii BIM*, *Builder*, 21(6), 118–123.
- Nalepka M., Rawska-Skotniczny A. (2016), *Roboty rozbiórkowe w kontekście zrównoważonego rozwoju*, *Builder*, 6/2016, 118–123.
- Newton A.J. (1995), *The planning and management of detailed building design*, PhD Thesis, Loughborough University.
- Ng S.T., Rose T.M., Mak M., Chen S.E. (2002), *Problematic issues associated with project partnering: the contractor perspective*, *International Journal of Project Management*, 20(6), 437–449.
- Norouzia N., Shabakb M., Rashid Bin Embic M., Khand T.H. (2015), *The architect, the client and effective communication in architectural design practice*, *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 172, 635–642.
- Obonadhuze B.I., Eze C.E., Siunoje L.U., Sofolahan O. (2021), *Causes and Effects of Ineffective Communication on Construction Projects*, *Borneo Journal of Sciences & Technology*, 3(1), 77–92.
- Olanrewaju A., Tan S.Y., Kwan L.F. (2017), *Roles of Communication on Performance of the Construction Sector*, *Procedia Engineering*, 196, 763–770.
- Oloufa A., Hosni Y., Fayed M., Axelsson P. (2004), *Using DSM for modeling information flow in construction design projects*, *Civil Engineering and Environmental Systems*, 21(2), 105–125.
- Omar B., Ballal T. (2009), *Intelligent wireless web services: context-aware computing in construction logistics supply chain*, *Journal of Information Technology in Construction*, 14, 289–308.
- Onyegiri I., Nwachukwu C. (2011), *Information and communication technology in the construction industry*, *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 2(3), 461–468.

- Pandit B., Albert A., Patil Y. (2020), *Developing construction hazard recognition skill: leveraging safety climate and social network safety communication patterns*, *Construction Management and Economics*, 38(7), 640–658.
- Pandit B., Albert A., Patil Y., Al-Bayati A.J. (2018), *Fostering Safety Communication among Construction Workers: Role of Safety Climate and Crew-Level Cohesion*, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1).
- Pauget B., Wald A. (2013), *Relational competence in complex temporary organizations: the case of a French hospital construction project network*, *International Journal of Project Management*, 3(2), 200–211.
- Pellicer E., Yepes V., Teixeira J., Moura H., Catalá J. (2008) *Zarządzanie budową*, Biblioteka Menedżerów Budowlanych, Leonardo da Vinci: PL/06/B/F/PP/174014, Walencja
- Pietroforte R. (1997), *Communication and Governance in the Building Process*, *Construction Management and Economics*, 15(1), 71–82.
- Pin-Chao L., Guangpu L., Dongping F., Wei L. (2014), *The Relationship between Communication and Construction Safety Climate in China*, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(4), 887–897.
- Pisarska E., Pruszyński K. (2018), *Podstawowe zasady udzielania zamówień*, [w:] M. Połoński (red.), *Kierowanie budowlanym procesem inwestycyjnym*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 129–138.
- Piwkowski W., Styliński J. (red.) (2020), *BIM Standard PL*, Polski Związek Pracodawców Budownictwa, Warszawa.
- Pousette A., Larsson S., Törner M. (2008), *Safety climate cross-validation, strength and prediction of safety behavior*, *Safety Science*, 46(3), 398–404.
- Preece C., Stocking S. (1999), *Safety communications management in construction contracting*, [in:] W. Hughes (ed.), *15th Annual ARCOM Conference*, 15–17 September 1999, John Moores University, Liverpool, Association of Researchers in Construction Management, 2, 529-539.
- Priven V., Sacks R. (2015), *Effects of the last planner system on social networks among construction trade crews*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(6).
- Project Management Institute (PMI) (2017), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, 6th ed., USA.
- Pryke S. (2004), *Analysing construction project coalitions: Exploring the application of social network analysis*, *Construction Management and Economics*, 22(8), 787–797.
- Pryke S. (2012), *Social Network Analysis in Construction*, John Wiley & Sons, New York.
- Pryke S. (2017), *Managing networks in project-based organisations*, John Wiley & Sons, New York.

- Pryke S., Badi S., Almadhoob H., Sunadraraj B., Addyman S. (2018), *Self-organizing networks in complex infrastructure projects*, Project Management Journal, 49(2), 18–41.
- Radziszewska-Zielina E. (2011), *Assessment methods of partnering relations of Polish, Slovak and Ukrainian construction enterprises with the use of fuzzy logic*, Archives of Civil Engineering, 57(1), 87–118.
- Radziszewska-Zielina E. (2021), *Program pracy Sekcji Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych KILiW PAN*, Przegląd Budowlany, 7-8/2021, 32–36.
- Radziszewska-Zielina E., Sroka B. (2017), *Liniowy model optymalizacji czasowo-kosztowej planowania realizacji inwestycji wieloobiektowych*, Acta Scientiarum Polonorum. Architectura, 16(2), 3–12.
- Radziszewska-Zielina E., Szewczyk B. (2014a), *Analysis of Correlations between the Level of Partnering Relations and their Influence on the Time, Cost, Quality and Safety of Implementation of Construction Projects*, SSP – Journal of Civil Engineering, 9(2), 65–75.
- Radziszewska-Zielina E., Szewczyk B. (2014b), *The model of partner relationships' impact on time, cost, quality and safety in construction projects*, [in:] *Proceeding of the International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2014*, 15–17 October 2014, Brno, University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Conference Proceedings, Kroměříž, Czech Republic, 3, 384–393.
- Radziszewska-Zielina E., Szewczyk B. (2015), *Controlling partnering relations in construction operations using fuzzy reasoning*, Archives of Civil Engineering, 61(3), 89–104.
- Radziszewska-Zielina E., Szewczyk B. (2016), *Supporting partnering relation management in the implementation of construction projects using AHP and fuzzy AHP methods*, Procedia Engineering, 161, 1096–1100.
- Radziszewska-Zielina E., Śladowski G., Kania E., Sroka B., Szewczyk B. (2019), *Managing information flow in self-organising networks of communication between construction project participants*, Archives of Civil Engineering, 65(2), 133–148.
- Reinertsen D.G. (1997), *Managing the Design Factory*, Simon and Schuster, New York.
- Reminga J., Carley K.M. (2003), *Measures for ORA (The Organizational Risk Analyzer)*, Institute for Software Research School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 22.
- Rogalska M., Bozejko W., Hejducki Z. (2008), *Time/cost optimization using hybrid evolutionary algorithm in construction project scheduling*, Automation in Construction, 18, 24–31.
- Ruan X., Ochieng E.G., Price A.D.F., Egbu C.O. (2012), *Knowledge integration process in construction projects: a social network analysis approach to compare competitive and collaborative working*, Construction Management and Economics, 30(1), 5–19.
- Safapour E., Kermanshachi S. (2019), *Investigation and Analysis of Human, Organizational, and Project Based Rework Indicators in Construction Projects*, ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering.

- Safapour E., Kermanshachi S., Taneja P. (2019), *Investigation and Analysis of the Rework Leading Indicators in Construction Projects: State-of-the-Art Review*, 7th CSCE International Construction Specialty Conference (ICSC).
- Sahlin-Andersson K., Soderholm A. (2002), *Beyond project management: New perspectives on the temporary-permanent dilemma*, Copenhagen Business School Press, Malmo, Sweden.
- Scott J. (2000), *Social Network Analysis: A Handbook*, 2nd ed., Sage.
- Scott J. (2017), *Social network analysis*, Sage.
- Senaratne S., Ruwanpura M. (2016), *Communication in construction: a management perspective through case studies in Sri Lanka*, Journal of Architectural Engineering and Design Management, 12(1), 3–18.
- Setiawan A., Hansen S., Fujiono A. (2021), *Measuring the Influence of Communication Planning Towards Construction Project Performance*, Civil and Environmental Engineering, 17(1), 58–65.
- Shakeri H., Khalilzadeh M. (2020), *Analysis of factors affecting project communications with a hybrid DEMATEL-ISM approach (A case study in Iran)*, Heliyon, 6(8), 1–18.
- Shields R., West K. (2003), *Innovation in clean-room construction: a case study of co-operation between firms*, Construction Management and Economics, 21(4), 337–344.
- Shirazi A., Hampson K. (1998), *Project manager competencies in a knowledge based society*, Proceedings of the Association of Researchers in Construction Management, 14th Annual Conference, September 9–11, University of Reading, 50–59.
- Shrestha P.P., Maharjan R. (2018), *Effects of change orders on cost growth, schedule growth, and construction intensity of large highway projects*, Journal of Legal Affair Dispute Resolution in Engineering Construction, 10(3), 04518012.
- Sigband N.B., Bell A.H. (1989), *Communication for Management and Business*, Scott, Foresman and Co, Glenview.
- Skorupka D. (2009), *Method of planning construction projects, taking into account risk factors*, Badania operacyjne i decyzje, 19(3), 119–128.
- Smith P.G., Reinertsen D.G. (1991), *Developing products in half the time*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sobieraj J. (2015), *Zarządzanie przedsięwzięciem inwestycyjnym na rynku budownictwa mieszkaniowego*, Krakowskie Studia Małopolskie, 20, 171–199.
- Sobotka A. (2005), *Zarządzanie logistyczne w przedsięwzięciach budowlanych*, Górnictwo i Geoinżynieria, 29, 3/1, 373–381.
- Sobotka A., Jaśkowski P., Czarnigowska A., Pawluś D., Wałach D. (2014), *Zarządzanie łańcuchami dostaw w budownictwie. Wybrane metody i modele w budownictwie drogowym*. Wydawnictwo AGH, Kraków.

- Sobotka A., Radziszewska-Zielina E., Plebankiewicz E., Zima K., Kowalik M. (2014), *Realizacja robót ziemnych w opinii wykonawców budowlanych*, Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 63(1), 3–13.
- Solis F., Sinfield J.V., Abraham D.M. (2013), *Hybrid approach to the study of inter-organization high performance teams*, Journal of Construction Engineering and Management, 139(4), 379–392.
- Songer A.D., Hays B., North C. (2004), *Multidimensional visualization of project control data*, Construction Innovation: Information, Process, Management, 4, 173–190.
- Sonnenwald D.H. (1996), *Communication roles that support collaboration during the design process*, Design Studies, 17(3), 277–299.
- Stabryła A. (2005), *Zarządzanie strategiczne w teorii i praktyce firmy*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Steen J., DeFillippi R., Sydow J., Pryke S., Michelfelder I. (2018), *Projects and Networks: Understanding Resource Flows and Governance of Temporary Organizations with Quantitative and Qualitative Research Methods*, Project Management Journal, 49(2), 3–17.
- Stokes E., Akram E. (2008), *Zarządzanie przedsięwzięciem budowlanym*, Biblioteka Menadżera Budownictwa, Leonardo da Vinci, Ascot, Salford.
- Svalestuen F., Knotten V., Lædre O., Drevland F., Lohne J. (2017), *Using building information model (BIM) devices to improve information flow and collaboration on construction sites*, Journal of Information Technology in Construction, 22, 204–219.
- Swaffield L.M. (1998), *Improving Early Cost Advice for Mechanical and Electrical Services*, PhD Thesis, Department of Civil Engineering, Loughborough University of Technology.
- Swan W., Cooper R., McDermott P., Wood G. (2001), *Reviews of social network analysis for the IMI trust in construction project*, Association of Researchers in Construction Management, 17th Annual Conference, September 5–7, University of Salford, 59–67.
- Swan W., McDermott P., Khalfan M. (2007), *The application of social network analysis to identify trust-based networks in construction*, International Journal of Networking and Virtual Organisations, 4(4), 369–382.
- Sylvester J.J. (1878), *Chemistry and algebra*, Nature, 17, 284.
- Szewczyk B., Radziszewska-Zielina E. (2020), *IT-based control and assessment of partnering relations in construction projects*, Automation in Construction, 116, 103201.
- Szymczak M. (2013), *Modele zarządzania informacją w łańcuchu dostaw*, Organizacja i Kierowanie, 4(157), 26–40.
- Śladowski G. (2018), *Use of Meta-Networks to Evaluate Key Agents, Knowledge and Resources in the Planning of Construction Projects*, Archives of Civil Engineering, 64(3), 111–129.

- Śladowski G. (2019), *Using meta-networks to analyse the impact of adverse random events on the time and cost of completing construction work*, Engineering and Environmental Sciences, 28(2), 192–202.
- Śladowski G. (2021), *Metasieci w proaktywnym podejściu do planowania rewaloryzacji zabytkowych obiektów budowlanych*, Politechnika Krakowska, Kraków.
- Śladowski G., Radziszewska-Zielina E., Kania E. (2019), *Analysis of self-organising networks of communication between the participants of a housing complex construction project*, Archives of Civil Engineering, 65(1), 181–195.
- Taleb H., Ismail S., Wahab M.H., Rani W.N.M.W.M., Amat R.C. (2017), *An Overview of Project Communication Management in Construction Industry Projects*, Journal of Management, Economics, and Industrial Organization, 1(1), 1–8.
- Talukhaba A., Mutunga T., Miruka C.O. (2011), *Indicators of effective communication models in remote projects*, International Journal of Project Organization and Management, 3(2), 127–138.
- Tang L.C., Zhao Y., Austin S., Darlington M.J., Culley S.J. (2008), *Overload of information or lack of high value information: lessons learnt from construction*, Proceedings of the 9th European Conference on Knowledge Management and Evaluation, ECKM 2008, September, Southampton Solent University, Southampton, UK.
- Tatikonda M.V., Rosenthal S.R. (2000), *Technology novelty, project complexity, and product development execution success*, IEEE Trans. Engineering Management, 47, 74–87.
- Taylor J.E., Levitt R. (2007), *Innovation alignment and project network dynamics: an integrative model for change*, Project Management Journal, 38(3), 22–35.
- Thamhain H.J., Wilemon D.L. (1986), *Criteria for controlling projects according to plan*, Project Management Journal, 17, 75–81.
- Thomas S.R., Tucker R.L., Kelly W.R. (1998), *Critical communications variables*, Journal of construction engineering and management, 124(1), 58–66.
- Thomas S.R., Tucker R.L., Kelly W.R. (1999), *Compass: An Assessment Tool for Improving Project Team Communications*, Project Management Journal, 30(4), 15–24.
- Thomson D.S., Austin S.A., Devine-Wright H., Mills G.R. (2003), *Managing value and quality in design*, Building Research & Information, 31(5), 334–345.
- Thorpe T., Mead S. (2001), *Project-specific web sites: friend or foe?*, Journal of Construction Engineering and Management, 127(5), 406–413.
- Titus S., Bröchner J. (2005), *Managing information flow in construction supply chains*, Construction innovation, 5(2), 71–82.
- Tomana A. (2015), *BIM Innowacyjna technologia w budownictwie. Podstawy, standardy, narzędzia*, Builder, Kraków.
- Torrington D., Hall L. (1998), *Human Resource Management*, 4th ed., Prentice Hall, London.

- Trach R., Bushuyev S. (2020), *Analysis communication network of construction project participants*, Scientific Review Engineering and Environmental Sciences, 29(3), 388–396.
- Trach R., Lendo-Siwicka M. (2018), *Zastosowanie sieciowej struktury organizacyjnej w zintegrowanej realizacji przedsięwzięcia budowlanego*, Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences, 27(1), 82–90.
- Trach R., Lendo-Siwicka M. (2021), *Centrality of a communication network of construction project participants and implications for improved project communication*, Civil Engineering and Environmental Systems, 38(2), 145–160.
- Trach R., Pawluk K., Lendo-Siwicka M. (2019), *Causes of rework in construction projects in Ukraine*, Archives of Civil Engineering, 65(3), 61–74.
- Trach R., Połośki M., Hrytsiuk P. (2021), *Decision making in choosing a network organizational structure in integrated construction projects*, Archives of Civil Engineering, 67(2), 195–208.
- Trach R., Trach Y., Lendo-Siwicka M. (2021), *Using ANN to Predict the Impact of Communication Factors on the Rework Cost in Construction Projects*, Energies, 14(14), 4376.
- Tupamäki O. (1997), *Future Construct: RTD Strategies for European Construction*, March, Villa Real Ltd/SA, Helsinki.
- Turner J.R., Müller R. (2003), *On the nature of the project as a temporary organization*, International Journal of Project Management, 21(1), 1–8.
- Uher E.T. (1999), *Partnering performance in Australia*, Journal of Construction Procurement, 5(2), 163–176.
- Umar T. (2020), *Safety climate factors in construction – a literature review*, Policy and Practice in Health and Safety, 18(2), 80–99.
- Ustinovicius L., Wierzowiecki P., Puzinas A. (2016), *Modelowanie informacyjne budowli (BIM) – stan rozwoju i perspektywy wdrażania w Polsce*, Tom I, Opole.
- Vecchio-Sadus A.M. (2007), *Enhancing safety culture through effective communication*, Safety Science Monitor, 11(3), 1–10.
- Walczak Z., Szymczak-Graczyk A., Walczak N. (2017), *BIM jako narzędzie przyszłości w projektowaniu i rewitalizacji obiektów budowlanych*, Przegląd Budowlany, 1/2017.
- Wang T., Gao S., Liao P. (2018), *Systematic Risk Assessment and Treatment Framework of International Construction Project Based on Dynamic Meta Network Analysis*, Construction Research Congress 2018, 227–238.
- Wang T., Gao S., Liao P., Ganbat T., Chen J. (2021), *A stakeholder-based risk assessment and intervention framework for international construction projects: A meta-network perspective*, International Journal of Managing Projects in Business, 14(2), 345–368.

- Wang T.K., Ford D.N., Chong H.-Y., Zhang W. (2018), *Causes of delays in the construction phase of Chinese building projects*, *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(11), 1534–1551.
- Wasserman S., Faust K. (1994), *Social network analysis: Methods and applications*, Cambridge University Press.
- wawel-service.pl/mieszkania-katowice/bytkowska-park.html.
- Wikforss Ö. (2006), *Kampen om kommunikationen: Om projektledningens informationsteknologi*, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Wikforss Ö., Löfgren A. (2007), *Rethinking communication in construction*, *Journal of Information Technology in Construction*, 12, 337–346.
- Winch G. (1989), *The construction firm and the construction project: a transaction cost approach*, *Construction Management and Economics*, 7(4), 331–345.
- Xie C., Wu D., Luo J., Hu X. (2010), *A case study of multi-team communications in construction design under supply chain partnering*, *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 363–370.
- Xie X. (2002), *Communication in construction design*, PhD Thesis, Loughborough University.
- Xie X., Thorpe A., Baldwin A.N. (2000), *A survey of communication issues in construction design*, [in:] A. Akintoye (ed.), *16th Annual ARCOM Conference, 6–8 September 2000, Glasgow Caledonian University, Association of Researchers in Construction Management*, 2, 771–780.
- Xue X., Zhang R., Wang L., Fan H., Yang R., Dai J. (2018), *Collaborative innovation in construction project: A social network perspective*, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 417–427.
- Yap J.B.H., Abdul-Rahman H., Wang C. (2017a), *Collaborative model: Managing design changes with reusable project experiences through project learning and effective communication*, *International Journal of Project Management*, 35(7), 1253–1271.
- Yap J.B.H., Abdul-Rahman H., Wang C. (2017b), *Design Change Dynamics in Building Project: From Literature Review to A Conceptual Framework Formulation*, *Journal of Surveying, Construction and Property*, 8(1), 13–33.
- Yap J.B.H., Rou Chong J., Skitmore M., Lee W.P. (2020), *Rework causation that undermines safety performance during production in construction*, *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(9), 04020106.
- 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.
- Zakeri M., Olomolaiye P.O., Holt G., Harries F.C. (1996), *A survey of constraints on construction operative motivation*, *Construction Management and Economics*, 14, 417–426.

- Zamani V., Banihashemi S.Y., Abbasi A. (2020), *How can communication networks among excavator crew members in construction projects affect the relationship between safety climate and safety outcomes?*, *Safety Science*, 128, 104737.
- Zavadskas E.K., Turskis Z., Tamosaitiene J. (2010), *Risk assessment of construction projects*, *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(1), 33–46.
- Zerjav V., Ceric A. (2009), *Structuring communication within construction projects: A communication breakdown structure*, [in:] A. Dainty (ed.), *Procs 25th Annual ARCOM Conference*, 7–9 September 2009, Nottingham, UK, Association of Researchers in Construction Management, 907–916.
- Zhang R., Liu A.M.M., Chan I.Y.S. (2018), *Effects of Quality and Quantity of Information Processing on Design Coordination Performance*, *World Journal of Engineering and Technology*, 6, 41–49.
- Zheng Y., Tetik M., Törmä S., Peltokorpi A., Seppänen O. (2020), *A Shared Ontology for Logistics Information Management in the Construction Industry*, 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2020), 1278–1285.
- Zhu J. (2016), *A System-of-Systems Framework for Assessment of Resilience in Complex Construction Projects*, Doctoral dissertation, Florida International University, Miami.
- Zhu J., Mostafavi A. (2015a), *An integrated framework for assessment of the impacts of uncertainty in construction projects using dynamic network simulation*, *Computing in Civil Engineering*, 355–362.
- Zhu J., Mostafavi A. (2015b), *Ex-ante assessment of vulnerability to uncertainty in complex construction project organizations*, *Proceedings of ICSC15: The Canadian Society for Civil Engineering 5th International/11th Construction Specialty Conference*, University of British Columbia, Vancouver, Canada, 070-1–070-10.
- Zhu J., Mostafavi A. (2016), *Dynamic Meta-Network Modeling for an Integrated Project Performance Assessment under Uncertainty*, *Construction Research Congress*, 2340–2350.
- Zhu J., Mostafavi A. (2017), *Characterization of the underlying mechanisms of vulnerability in complex projects using dynamic network simulation*, 2017 Winter Simulation Conference (WSC), IEEE, 2436–2447.
- Zhu J., Mostafavi A. (2018), *Enhancing Resilience in Disaster Response: A Meta-Network Analysis Approach*, *Construction Research Congress*, 553–562.
- Zidane Y., Andersen B. (2018), *The top 10 universal delay factors in construction projects*, *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(3), 650–672.
- Zima K. (2012), *Zarządzanie informacjami w zintegrowanej realizacji inwestycji*, *Zeszyty Naukowe WSOWL*, 4(166), 146–158.

- Zohar D., Luria G. (2005), *A multilevel model of safety climate: Cross-level relationships between organization and group-level climates*, The Journal of Applied Psychology, 90(4), 616–628.
- Zulch B. (2014), *Communication: The foundation of project management*, Procedia Technology, 16(2014), 1000–1009.
- Zulch B. (2016), *A proposed model for construction project management communication in the South African construction industry*, Acta Structilia, 23(1), 1–35.
- Żabicki D. (2016), *Zalety modelowania informacji o budynku (BIM)*, Inteligentny Budynek, 2/2016.

Streszczenie

Wraz z rozwojem przemysłu budowlanego procesy budowlane stają się coraz bardziej dynamiczną i złożoną działalnością, co zwiększa świadomość potrzeby lepszego zarządzania przedsięwzięciami w przemyśle budowlanym. Fakt ten częściowo wynika ze stawiania przez inwestorów coraz wyższych wymagań pod względem technologii, efektywności, oszczędności oraz szybkości projektowania oraz realizacji. Często procesy projektowania i wykonawstwa prowadzone są równolegle w celu przyspieszenia czasu realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Rośnie zależność generalnych wykonawców od podwykonawców, zwiększając tym samym złożoność realizacji. Zmiany te sprawiają, że zarządzanie procesami projektowania budowlanego i wykonawstwa wymaga koordynacji wielu zorganizowanych zespołów, co stanowi poważne wyzwanie. Branża budowlana, przy obecnej konieczności poprawy efektywności, jest do pewnego stopnia zależna od skutecznej komunikacji między osobami, zespołami i organizacjami. Przedsięwzięcie budowlane jako tymczasowa organizacja o interdyscyplinarnym charakterze, stworzona do realizacji określonych celów w wyznaczonym czasie, wymaga sprawnej komunikacji między jej uczestnikami, co w powyższych warunkach nie jest łatwe do osiągnięcia. Sama liczba zainteresowanych stron zaangażowanych w procesy podejmowane w trakcie realizacji przedsięwzięcia budowlanego sprawia, że relacje komunikacyjne są wyjątkowo złożone i ulegają zmianom, co podkreśla dynamiczny charakter tej komunikacji.

Wielu autorów podejmuje problematykę komunikacji w budownictwie, zajmując się skutecznością komunikacji i badając praktyki komunikacyjne w przedsięwzięciach budowlanych. Większość publikacji dotycząca tej tematyki skupia się na wskazywaniu jej istotności podczas procesu budowlanego, ponieważ pozytywnie wpływa ona na: czas, koszt, jakość realizacji przedsięwzięcia, bezpieczeństwo i higienę pracy, partnerstwo w przedsięwzięciu budowlanym i logistykę. Istnieje również grupa badań poruszająca kwestię negatywnego wpływu braku komunikacji, powodującego zmiany projektowe oraz opóźnienia w realizacji prac. Jednakże przede wszystkim jest to podejście jakościowe. Wskazywana jest natomiast (zarówno w literaturze, jak i wśród praktyków) potrzeba opracowania podejścia umożliwiającego optymalizację komunikacji z perspektywy szybkiej i skutecznej wymiany informacji w przedsięwzięciach budowlanych. Zauważono bowiem, że nadmiar komunikacji jest równie niekorzystny jak jej niedobór.

W wyniku przeprowadzonych badań ankietowych uzyskano opinie praktyków w branży budowlanej w Polsce. Okazało się, że istnieje potrzeba poprawy komunikacji, zwłaszcza ze względu na ilość czasu, jaki jest na nią poświęcany. Praktycy wykazali zainteresowanie podejściem, które mogłoby w efektywny sposób wspomagać zarządzanie komunikacją w ramach realizacji przedsięwzięcia budowlanego. Brakuje zatem metod, które skutecznie wspomogłyby poprawę efektywności komunikacji w przedsięwzięciu budowlanym, zwłaszcza na etapie realizacji budowy.

Autorka niniejszej pracy zdecydowała się na opracowanie podejścia umożliwiającego efektywne planowanie i monitorowanie komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Podejście to wspomagać będzie zarządzanie komunikacją w trakcie realizacji całego procesu inwestycyjnego, ze szczególnym naciskiem na etap realizacji budowy. Zaproponowano, aby planowanie i monitorowanie komunikacji było dokonywane z perspektywy jej wpływu na czas i koszt jako podstawowych parametrów przedsięwzięcia budowlanego.

Zaproponowane w pracy podejście do modelowania i analizy komunikacji w budownictwie wykorzystuje teorię sieci. W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele badań wykorzystujących do tego celu popularną metodę analizy sieci społecznych (ang. *Social Network Analysis*), jednak podejście to ma istotne ograniczenie. Wykorzystanie SNA do analizy komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego skupia się na sieciach o jednym typie węzłów i nie pozwala na uwzględnienie bezpośrednich czynników wpływających w istotny sposób na tę komunikację. Aby rozwiązać ten problem, autorka pracy zdecydowała się wykorzystać do tego celu sieci heterogeniczne, a konkretnie metasieci (ang. *meta-network*). Zastosowanie sieci heterogenicznych do mapowania relacji pomiędzy uczestnikami procesu umożliwia identyfikację bezpośrednich czynników, które determinują komunikację w przedsięwzięciu budowlanym. Wpływ na komunikację mają między innymi takie czynniki jak na przykład: formalna struktura organizacyjna przedsięwzięcia, harmonogram robót, identyfikacja wiedzy potrzebnej do realizacji zadań, której wymiana pomiędzy uczestnikami determinuje charakter tej komunikacji. Opracowany został model optymalizacyjny ze względu na minimalizację kanałów komunikacyjnych pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego wraz z algorytmem analizy czasowo-kosztowej, umożliwiającym identyfikację kluczowych kanałów komunikacyjnych w tym kontekście.

Zaproponowane w niniejszej pracy metasieciowe ujęcie komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego rozwiązuje wyżej wymienione problemy i ograniczenia, a implementacja komputerowa opracowanej metody pozwala na zautomatyzowanie procesu obliczeniowego, czyniąc z niej użyteczne narzędzie do wykorzystywania w praktyce przez zarządzających przedsięwzięciem budowlanym.

Całość opracowania została poparta przykładem praktycznego zastosowania proponowanej metody jako narzędzia wspomagającego planowanie i monitorowanie komunikacji w trakcie realizacji budowy osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego Bytkowska Park w Katowicach.

Analiza otrzymanych wyników i wyciągnięte wnioski potwierdziły potencjał aplikacyjny wyżej wymienionego podejścia.

Abstract

Along with the development of the construction industry, construction processes are becoming an increasingly dynamic and complex activity, which raises awareness about the need to better manage projects in the sector. This fact partially stems from developers having increasingly higher requirements concerning technology, performance, cost savings and speed of design and construction. Oftentimes, design and construction takes place parallel so as to shorten project completion time. General contractors become increasingly reliant on subcontractors, thus increasing project complexity. These changes mean that managing the processes of technical design and construction requires the coordination of numerous organized teams, which is a serious challenge. The construction sector, faced with the necessity to improve its performance, is, to an extent, dependent on effective communication between persons, teams and organizations. A construction project, as a temporary organization that is interdisciplinary and is formed to achieve specific goals in a set amount of time, requires efficient communication between its actors, which is not easy to achieve in the conditions presented. Just the number of stakeholders involved in processes during a project alone means that communication relations are exceptionally complex and are subject to change, which highlights the dynamic nature of this communication.

Many authors discuss communication in the construction sector, investigating the effects of communication and studying communication practices in construction projects. Most publications on communication in construction focus on highlighting its significance over a project's course, as it positively affects project completion time, cost and quality, occupational health and safety, partnering relations, and logistics. There is also a group of studies that discusses the negative impact of a lack of communication, which causes design alterations and delays in work completion. However, this is a mainly qualitative approach. However, there is a need (highlighted both in the literature and by professionals) to develop an approach that could optimize communication from the perspective of the quick and effective exchange of information in construction projects. It was observed that an excess of communication can be equally detrimental as its deficiency.

A survey study was performed and opinions of construction professionals active in Poland were collected. This study found a demand for improvement in communication, especially in terms of the amount of time dedicated to it. The professionals showed an

interest in an approach that could effectively support managing communication in a construction project. There is thus a lack of methods that could sufficiently improve communication effectiveness in a project, especially during construction.

The author of this dissertation decided to develop an approach that could effectively plan and monitor communication between a construction project's participants. This approach can support managing communication over the course of an entire real estate development process, with a special emphasis on the construction phase. It was proposed for the planning and monitoring of communication to be done from the perspective of its impact on time and cost as they are essential parameters of any construction project.

The approach to modelling and analysing communication in the construction sector, as proposed in the dissertation, uses network theory. In the literature one can find many studies that use Social Network Analysis (SNA) to do this. However, this approach has a significant limitation. The use of SNA to analyse communication between a construction project's participants focuses on networks with a single node type and prevents considering direct factors that substantially affect communication. To address this problem, the author decided to use heterogenous networks, specifically metanetworks. The use of heterogenous networks to map relations between a process's participants enables the identification of direct factors that determine communication in a construction project. Communication is impacted by such factors as a project's formal organizational structure, the works schedule, the identification of knowledge necessary to perform tasks, and whose exchange between participants determines the character of the communication. An optimization model oriented towards minimizing the costs of necessary communication (minimizing communication links) between project participants was developed, along with an algorithm of time-cost analysis that can identify key communication links in this regard.

The metanetwork approach to communication between a construction project's participants, as presented in this dissertation, addresses the problems and limitations mentioned above, and its digital implementation allows for automating the calculation process, making it an effective tool that can be used in practice by construction project managers.

The study was backed with a case of the practical application of the proposed method as a tool for supporting the planning and monitoring of communication over the course of the construction of the Bytkowska Park multi-family housing complex in Katowice, Poland.

The analysis of the results and the conclusions confirmed the application potential of the proposed approach.

Załącznik I

Załącznik zawiera kod źródłowy algorytmów: do optymalizacji komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego oraz analizy wpływu komunikacji na czas i koszt realizacji przedsięwzięcia budowlanego.

Algorytm został zaimplementowany w języku programowania Python z zastosowaniem biblioteki „NumPy”, która służy do obliczeń macierzowych.

Kod źródłowy algorytmów zawiera również odnośniki do plików z danymi wejściowymi na potrzeby analizy zawartego w pracy przykładowego przedsięwzięcia budowlanego. Zawartość plików przywołanych w odnośnikach została przedstawiona pod kodem źródłowym.

KOD ŹRÓDŁOWY

#CZĘŚĆ I

```
import pandas as pd
import numpy as np
import cvxpy as cp
from pprint import pprint

np.set_printoptions(precision=2, threshold=2000)

#WPROWADZENIE PARAMETRÓW DLA ROZRÓŻNIENIA PIERWSZEGO LUB KOLEJNEGO
MIESIĄCA PLANOWANIA KOMUNIKACJI

#xl - numer pliku o nazwie "macierzxl.xlsx"
#lm - jeżeli istnieje, to poprzednia rzeczywista macierz
komunikacji
def genH(xl, lm=None):

    #jeżeli została podana poprzednia rzeczywista macierz komunikacji
    to uwzględnij w algorytmie
    backward = 1 if type(lm)==pd.core.frame.DataFrame else 0

    filename = "macierz"+str(xl)+".xlsx"

#WPROWADZENIE PARAMETRÓW DLA METASIECI

#czyta nazwę uczestników (z sieci formalnej komunikacji)
agents = list(pd.read_excel(filename,"AAF",index_col=0))
```

```

#czyta macierze do zmiennych
AAF=np.array(pd.read_excel(filename,"AAF",index_col=0))
AK=np.array(pd.read_excel(filename,"AK",index_col=0))
KT=np.array(pd.read_excel(filename,"KT",index_col=0))
AT=np.array(pd.read_excel(filename,"AT",index_col=0))
TT=np.array(pd.read_excel(filename,"TT",index_col=0))
dplus=np.array(pd.read_excel(filename,"dplus",index_col=0))
dminus=np.array(pd.read_excel(filename,"dminus",index_col=0))

#UWZGLĘDNIENIE RZECZYWISTEJ MACIERZY KOMUNIKACJI Z POPRZEDNIEGO
MIESIĄCA (JEŚLI JEST TO KOLEJNY MIESIĄC REALIZACJI)

#poprzednia rzeczywista macierz komunikacji
if backward:
    all_agents = list(set(agents+list(lm)))
    old_agents = list(lm)

    AARZ = pd.DataFrame(np.zeros(AAF.shape),index=agents,columns=agents)

    for i in all_agents:
        for j in all_agents:
            if (i in agents) and (j in agents) and (i in old_agents) and (j in old_agents):
                AARZ.at[i,j] = lm.at[i,j]

#WYZNACZENIE WARUNKÓW OGRANICZAJĄCYCH

#zmienne w modelu
var = cp.Variable(AAF.shape,boolean=True)

#ograniczenia
cons = []

#Warunek na wzajemne udostępnienia pomiędzy uczestnikami potrzebnej
wiedzy do realizacji poszczególnych zadań

#macierze Z (wymaganej wiedzy do realizacji poszczególnych zadań)
Z=np.dot(AT.T,AK)-KT.T
Z[Z>0]=0
Z[Z<0]=1

#macierz Np (komunikacji ze względu na potrzebną wiedzę do
realizacji zadania)
row,col = Z.shape
for i in range(row):
    for j in range(col):

```

```

if Z[i,j]==1:
    Zp=np.zeros((Z.shape),dtype=np.int16)
    Zp[i,j]=1
    Np=np.dot(np.dot(AT,Zp),AK.T)
    c = 0
    for (k,l) in np.array(Np.nonzero()).T:
        c += var[k,l]
    c = c>=1
    cons.append(c)

```

#Warunek wymaganej komunikacji pomiędzy uczestnikami ze względu na realizację tych samych zadań

```

#macierz C (komunikacji ze względu na współpracę w ramach zadań)
C = np.dot(AT,AT.T)
C[C>=1]=1
for i in range(len(C)):
    C[i,i]=0

row, col = AAF.shape
ATsum = AT.sum(axis=0)
r = np.argwhere(ATsum>1)
for i in r:
    ATr=np.zeros((AT.shape),dtype=np.int16)
    ATr[:,i]=AT[:,i]
    Cr=np.dot(ATr,ATr.T)
    for i in range(row):
        for j in range(col):
            if Cr[i,j]==1:
                cons.append(var[i,j]>=1)

```

#Warunek na wymaganą komunikację pomiędzy uczestnikami ze względu na realizację zadań w sekwencji bezpośredniego poprzedzania

```

#macierz Hs (komunikacji ze względu na sekwencję zadań)
row,col = TT.shape
for i in range(row):
    for j in range(col):
        if TT[i,j]==1:
            TTs=np.zeros((TT.shape),dtype=np.int16)
            TTs[i,j]=1
            Hs=np.dot(np.dot(AT,TTs),AT.T)
            c = 0
            for (k,l) in np.array(Hs.nonzero()).T:
                c += var[k,l]
            if c:
                c = c>=1
                cons.append(c)

```

#Warunek aby zachowana została komunikacja ze względu na formalną strukturę organizacyjną przedsiębiorstwa

```
#macierze AAF (formalnej komunikacji)
row,col = AAF.shape
for i in range(row):
    for j in range(col):
        if AAF[i,j]==1:
            cons.append(var[i,j]==1)
```

#Warunek aby komunikacja między uczestnikami była dwukierunkowa

```
#warunki na symetryczność macierzy AA
row,col = AAF.shape
for i in range(row):
    for j in range(col):
        if i>j:
            cons.append(var[i,j]==var[j,i])
```

#Warunki aby komunikacja w przypadku wybranych uczestników była ograniczona do konkretnej liczby kanałów komunikacyjnych, wskazanej przez zarządzającego przepływem informacji

```
row,col = AAF.shape
for j in range(row):
    c=0
    for i in range(col):
        c += var[i,j]
    cons.append(c<=dplus[j])
```

```
row,col = AAF.shape
for i in range(row):
    c=0
    for j in range(col):
        c += var[i,j]
    cons.append(c<=dminus[i])
```

#SFORMUŁOWANIE FUNKCJI CELU DLA WYZNACZENIA OPTYMALNEJ MACIERZY AA

```
#funkcja celu
if backward:
    objective = cp.Minimize(cp.sum(var*(1-AARZ*0.001)))
else:
    objective = cp.Minimize(cp.sum(var))

#optymalizacja
prob = cp.Problem(objective, cons)
results = prob.solve()
```

```

#normalizacja macierzy (zero-jedynkowa)
re = var.value
re[re>1]=1

#zerowanie diagonal
re = re - np.diag(var.value.diagonal())
re[re<0]=0

# zapisanie do pliku
H = pd.DataFrame(re,index=agents, columns=agents)

filepath = 'results'+str(x1)+ '.xlsx'

with pd.ExcelWriter(filepath) as writer:
    H.to_excel(writer, sheet_name='AA')
    if backward:
        AARZ.to_excel(writer, sheet_name='AARZ')
        #df2.to_excel(writer, sheet_name='Sheet2')

return H

```

#CZĘŚĆ II

```

import os

#IMPLEMENTACJA METODY ŚCIEŻKI KRYTYCZNEJ (CPM) WYLICZANEJ PRZY
ZAŁOŻENIU BRAKU PROBLEMÓW Z KOMUNIKACJĄ ORAZ POZWALAJĄCA WYZNACZYĆ
DŁUGOŚĆ ŚCIEŻKI PO WYSTĄPIENIU PROBLEMÓW Z KOMUNIKACJĄ

class Node():
    def __init__(self, net, number, predecessors, successors, time):
        self.number = number
        self.net = net
        self.predecessors = predecessors.reshape(-1).tolist()
        self.successors = successors.reshape(-1).tolist()
        self.time = time
        self.reset()

    def pr(self):
        print(f'pop: {list(self.predecessors)}, suc: {self.successors},
        czas: {self.time}, es:{self.es}, ef:{self.ef}, ls: {self.ls}, lf: {
self.lf}, ts: {self.ts}, for: {self.forw}, back: {self.backw}')

    def forward(self):
        if not self.forw:
            if not len(self.predecessors) > 0:

```

```

        self.es = 0
        self.ef = self.es + self.time
        self.forw = 1
    else:
        f = [self.net.nodes[i].forw for i in self.predecessors]
        if np.prod(f):
            tt = np.max([self.net.nodes[i].ef for i in self.predecessors])
            self.es = tt
            self.ef = self.es + self.time
            self.forw = 1

def backward(self):
    if not self.backw:
        if not len(self.successors) > 0:
            self.lf = self.net.finish
            self.ls = self.lf - self.time
            self.backw = 1
        else:
            f = [self.net.nodes[i].backw for i in self.successors]
            if np.prod(f):
                tt = np.min([self.net.nodes[i].ls for i in self.successors])
                self.lf = tt
                self.ls = self.lf - self.time
                self.backw = 1

def countts(self):
    self.ts = self.lf - self.ef

def reset(self):
    self.es = 0
    self.ef = 0
    self.ls = 0
    self.lf = 0
    self.ts = 0
    self.forw = 0
    self.backw = 0

class Net():
    def __init__(self, TT, times):
        self.TT = TT
        self.times = times
        self.nodes = []
        for i in range(self.TT.shape[0]):
            pre = np.argwhere(self.TT[:,i]==1)
            suc = np.argwhere(self.TT[i,:]==1)

```



```

        t = self.times[i]
        self.nodes.append(Node(self, i, pre, suc, t))

self.reset()

def update(self):
    while not self.forw:
        [i.forward() for i in self.nodes]
        if np.prod([i.forw for i in self.nodes]):
            self.forw = 1
        self.finish = np.max([i.ef for i in self.nodes])

    while not self.backw:
        [i.backward() for i in self.nodes]
        if np.prod([i.backw for i in self.nodes]):
            self.backw = 1

    [i.countts() for i in self.nodes]

def reset(self):
    self.forw = 0
    self.backw = 0
    [i.reset() for i in self.nodes]

def changetimes(self, times):
    for i in range(self.TT.shape[0]):
        self.nodes[i].time = times[i]
    self.reset()

def saveres(self, f):
    f = open(f, 'w')
    f.write(f'Numer;ES;EF;LS;LF;TS\n')
    for i in self.nodes:
        f.write(f'{i.number};{i.es};{i.ef};{i.ls};{i.lf};{i.ts}\n')
    f.close()

```

#WPROWADZENIE DANYCH WEJŚCIOWYCH DO ALGORYTMU I PRZYWOŁANIE PLIKÓW
Z OPTYMALNĄ MACIERZĄ KOMUNIKACJI WYZNACZONĄ W CZĘŚCI I

```

def gentimecost(H, xl):
    HH = H.to_numpy()
    filename = "macierz"+str(xl)+".xlsx"

    if os.path.exists("wynik.txt"):
        os.remove("wynik.txt")

    if os.path.exists("log.txt"):

```

```

    os.remove("log.txt")

plik_wynik = open('wynik.txt', 'w')
plik_log = open('log.txt', 'w')

#WPROWADZENIE PARAMETRÓW DLA METASIECII DANYCH WEJŚCIOWYCH DO
OKREŚLENIA CZASU I KOSZTU

#czyta nazwe uczestników
agents = list(pd.read_excel(filename,"AAF",index_col=0))

#czyta macierze do zmiennych
AAF=np.array(pd.read_excel(filename,"AAF",index_col=0))
AK=np.array(pd.read_excel(filename,"AK",index_col=0))
KT=np.array(pd.read_excel(filename,"KT",index_col=0))
AT=np.array(pd.read_excel(filename,"AT",index_col=0))
TT=np.array(pd.read_excel(filename,"TT",index_col=0))
X=np.array(pd.read_excel(filename,"X",index_col=0))
#Koszty pośrednie
Kp=np.array(pd.read_excel(filename,"Kp"))
#Kary umowne
Kn=np.array(pd.read_excel(filename,"Kn"))

head = ';' .join(['i','j',*[f'T{i}' for i in range(TT.shape[0])],
    Koszt dodatkowy","Czas"])
plik_wynik.write(f'{head}\n')

#Przygotowanie macierzy X która zawiera szacowaną wartość
jednostkowego opóźnienia czasu ze względu na komunikację w sytuacji
braku wiedzy niezbędnej do realizacji zadania, koszty bezpośrednie
(robotyczny, sprzętu i materiałów) realizacji zadań za dzień

#porządkujemy macierz X
#usuwa 'x' i daje 0
X=np.where(X=='x', 0, X)

KO=X[:, -1]
O=X[:, -2]
WR=X[:, -3]
KWR=X[:, -4]
th=X[:, -5]
t=X[:, -6]
deltat = X[:, -7]
X=X[:, :-7]

```

#WYLICZENIE CZASU TRWANIA PRZEDSIĘWZIĘCIA I OKREŚLENIE ŚCIEŻKI KRYTYCZNEJ DLA DANEGO ZAKRESU PRAC W ROZPATRYWANYM, PLANOWANYM OKRESIE JEGO REALIZACJI, BEZ WYSTĄPIENIA PROBLEMÓW Z KOMUNIKACJĄ

```
#Początkowa sieć
NET = Net(TT, t)
NET.update()
NET.saveres('poczatkow.txt')

T_pocz = NET.finish

res = ";" .join(['Brak', 'Brak', *[f'0.0' for i in range(TT.shape[0]
)], '0', str(NET.finish)])
plik_wynik.write(f'{res}\n')
```

#WYKRYWANIE OPÓŹNIEŃ W REALIZACJI ZADAŃ Z POWODU BRAKU ODPOWIEDZNIJ KOMUNIKACJI

#Wyznaczenie opóźnień spowodowanych brakiem komunikacji ze względu na potrzebną wiedzę do realizacji zadań

```
#macierz Z
Z=np.dot(AT.T,AK)-KT.T
Z[Z>0]=0
Z[Z<0]=1

#macierze Np
Nps = []
row,col = Z.shape
for i in range(row):
    for j in range(col):
        if Z[i,j]==1:
            Zp=np.zeros((Z.shape), dtype=np.int16)
            Zp[i,j]=1
            Np=np.dot(np.dot(AT,Zp),AK.T)
            #zerowanie przekątnej
            for k in range(len(Np)):
                Np[k,k]=0
            Nps.append((i,j,Np))
```

#Wyznaczenie opóźnień spowodowanych brakiem komunikacji ze względu na współpracę w ramach zadania

```
#macierz C
C = np.dot(AT,AT.T)

#macierze Crs
Crs = []
```

```

row, col = C.shape
for i in range(row):
    if np.sum(AT[i,:]) > 0:
        ATr = np.zeros(AT.shape)
        ATr[i,:] = AT[i,:]
        Cr = np.dot(ATr,ATr.T)
        Cr[Cr>=1]=1
        #zerowanie przekątnej
        for k in range(len(Cr)):
            Cr[k,k]=0
        Crs.append((i, Cr))

```

#Wyznaczenie opóźnień spowodowanych brakiem komunikacji ze względu na sekwencję zadań

```

#macierze Hs
Hss = []
row,col = TT.shape
for i in range(row):
    for j in range(col):
        if TT[i,j]==1:
            TTs=np.zeros((TT.shape),dtype=np.int16)
            TTs[i,j]=1
            Hs=np.dot(np.dot(AT,TTs),AT.T)
            #zerowanie przekątnej
            for k in range(len(Hs)):
                Hs[k,k]=0
            Hss.append((i, Hs))

```

#WYZNACZENIE KOLEJNYCH ŚCIEŻEK KRYTYCZNYCH I DŁUGOŚCI REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘCIA PRZY UWZGLĘDNIENIU OPÓŹNIEŃ SPOWODOWANYCH BRAKIEM KOMUNIKACJI (OBLICZENIA WYKONYWANE KOLEJNO DLA KAŻDEGO POŁĄCZENIA KOMUNIKACYJNEGO WYZNACZONEGO W OPTYMALNEJ MACIERZY KOMUNIKACJI)

```

#pętla zewnętrzna
row,col = HH.shape
for i in range(row):
    for j in range(col):
        if HH[i,j]==1:
            AAw = HH.copy()

            #zerowanie jednego polaczenia w macierzy optymalnej AA
            AAw[i,j] = 0
            plik_log.write(f'Przypisano:AAw[{i},{j}] = 0\n')

            #macierze opoznien
            AAN = np.zeros(X.shape)
            AAC = np.zeros(TT.shape[0])

```

```

AAH = np.zeros(TT.shape[0])

#wyznaczenie macierzy AAN
for task, knowledge, nps in Nps:
    if nps[i, j] > 0 and np.sum(nps*AAw):
        plik_log.write(f"Brak wiedzy ze względu na komunikcję,
            zadanie {task}, wiedza: {knowledge}\n")
        AAN[task, knowledge] = 1

#wyznaczenie macierzy AAC
for task, crs in Crs:
    if crs[i, j] > 0 and np.sum(crs*AAw):
        plik_log.write(f"Brak wiedzy ze względu na współpracę,
            zadanie {task}\n")
        AAC[task] = 1

#wyznaczenie macierzy AAH
for task, hss in Hss:
    if hss[i, j] > 0 and np.sum(hss*AAw):
        plik_log.write(f"Brak wiedzy ze względu na sekwencję za
            dań, zadanie {task}\n")
        Qh[task] = 1

#WYZNACZENIE DODATKOWEGO CZASU I KOSZTU REALIZACJI PRZEDSIĘWZIĘCIA
#SPOWODOWANEJ BRAKIEM KOMUNIKACJI POMIĘDZY UCZESTNIKAMI (OBLICZENIA
#WYKONYWANE KOLEJNO DLA KAŻDEGO POŁĄCZENIA KOMUNIKACYJNEGO
#WYZNACZONEGO W OPTYMALNEJ MACIERZY KOMUNIKACJI)

#Wyznaczenie dodatkowych czasu i kosztu
QQ = np.concatenate(((AAN*X).T, [AAC], [AAH]), axis=0)
if np.sum(QQ):
    delays = np.max(QQ, axis=0)
    times = t + delays
    NET.changetimes(times)
    NET.update()
    plik_log.write(f'Czas realizacji sieci: {NET.finish}\n')

    delays_cost = np.sum(delays*WR)
    materials_cost = np.sum(delays*deltat)
    if delays_cost:
        plik_log.write(f'Koszty dodatkowe ze względu na opóźnie
            nie: {delays_cost}\n')
    if materials_cost:
        plik_log.write(f'Koszty materiałów ze względu na opóźni
            enie: {materials_cost}\n')

Psi=NET.finish - T_pocz
Kpc = Psi*Kp

```

```

plik_log.write(f'Koszty pośrednie: {Kpc}\n')

Knc = Psi*Kn
plik_log.write(f'Koszty kar: {Knc}\n')

Kc = delays_cost + materials_cost + Kpc + Knc
plik_log.write(f'Koszty całkowite: {Kc}\n')

res = ";".join([str(i),str(j),*[str(k) for k in delays],s
tr(delays_cost),str(materials_cost),str(Kpc),str(Knc),str
(Kc),str(NET.finish)])
plik_wynik.write(f'{res}\n')
else:
plik_log.write(f'Żadanych opóźnień\n')

plik_wynik.close()
plik_log.close()

```

DANE WEJŚCIOWE

Zdefiniowanie węzłów metasieci modelowanego przedsięwzięcia wraz z przypisanymi numerami (odpowiednio dla wierszy i kolumn macierzy):

A – (uczestnicy): 0 Koordynator Nadzoru Inwestorskiego, 1 Inspektor Nadzoru branży elektrycznej, 2 Inspektor Nadzoru branży sanitarnej, 3 Project Manager, 4 Kierownik budowy, 5 Kierownik robót, 6 Inżynier budowy, 7 Architekt, 8 Koordynator ds. zmian lokatorskich, 9 Biuro projektowe, 10 Branżowe biuro projektowe ds. elektryki, 11 Branżowe biuro projektowe ds. instalacji sanitarnych, 12 Wykonawca tynków, 13 Wykonawca gładzi i suchej zabudowy, 14 Wykonawca branży elektrycznej, 15 Podwykonawca branży elektrycznej, 16 Wykonawca robót posadzkarskich, 17 Wykonawca bramy garażowej, 18 Wykonawca stolarki okiennej, 19 Wykonawca pokryć dachowych i tarasów, 20 Wykonawca stolarki drzwiowej, 21 Wykonawca instalacji C.O. i wod.-kan., 22 Wykonawca instalacji wentylacji, 23 Wykonawca elewacji i okładzin posadzek balkonowych, 24 Wykonawca balustrad, 25 Wykonawca robót murarskich, 26 Wykonawca instalacji zewnętrznych, 27 Wykonawca zagospodarowania terenu, 28 Wykonawca powłok malarskich, 29 Wykonawca wykonujący dostawę i montaż windy, 30 Wykonawca usług glazurniczych, 31 Wykonawca izolacji termicznej stropów garażu

T – (zadania): 0 Dostawa i montaż pochwytyłów balustrad żelbetowych Budynek B, 1 Elewacja północna wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B, 2 Elewacja południowa wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B, 3 Elewacja zachodnia wykonywana metodą lekką mokrą Budynek B, 4 Izolacja balkonów Budynek B, 5 Ułożenie glazury na balkonach - elewacja zachodnia Budynek B, 6 Ułożenie glazury na balkonach - elewacja południowa Budynek B, 7 Dostawa i montaż balustrad balkonowych - elewacja zachodnia Budynek B, 8 Dostawa i montaż balustrad balkonowych - elewacja południowa Budynek B, 9 Obróbka blacharska balustrad żelbetowych Budynek B, 10 Główna instalacja elektryczna Budynek B, 11 Instalacja elektryczna w lokalach mieszkalnych i usługowych Budynek B, 12 Tynki Budynek B, 13 Szpachlowanie ścian działowych Budynek B, 14 Ułożenie posadzek Budynek B, 15 Okładziny izolacyjne korytarzy i mieszkań (suche zabudowy) Budynek B, 16 Instalacja kanalizacji sanitarnej i deszczowej Budynek B, 17 Instalacja ciepłej i zimnej wody Budynek B, 18 Instalacja centralnego ogrzewania Budynek B, 19 Instalacja

wentylacji mechanicznej Budynek B, 20 Montaż drzwi do komórek lokatorskich Budynek B, 21 Montaż bramy garażowej Budynek B, 22 Drogi i chodniki elewacja zachodnia Budynek B, 23 Murowanie ścian działowych Budynek C, 24 Tynki Budynek C, 25 Szpachlowanie ścian działowych Budynek C, 26 Montaż stolarki okiennej Budynek C, 27 Główna instalacja elektryczna Budynek C, 28 Instalacja elektryczna w lokalach mieszkalnych Budynek C, 29 Instalacja kanalizacji sanitarnej i deszczowej Budynek C, 30 Instalacja ciepłej i zimnej wody Budynek C, 31 Instalacja centralnego ogrzewania Budynek C, 32 Instalacja wentylacji mechanicznej Budynek C, 33 Roboty zewnętrzne - Sieć kanalizacji deszczowej i sanitarnej Budynek C, 34 Roboty zewnętrzne - Sieć instalacji wody Budynek C, 35 Przyłącze kanalizacji deszczowej Budynek C, 36 Przyłącze kanalizacji sanitarnej Budynek C, 37 Przyłącze wody Budynek C, 38 Murowanie ścian działowych Budynek D, 39 Murowanie komórek lokatorskich Budynek D, 40 Elewacja wschodnia wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B, 41 Ułożenie glazury na balkonach - elewacja wschodnia Budynek B, 42 Dostawa i montaż balustrad balkonowych - elewacja wschodnia Budynek B, 43 Pierwsze malowanie korytarzy i klatki schodowej Budynek B, 44 Ułożenie glazury na korytarzach i klatce schodowej Budynek B, 44 Montaż windy Budynek B, 45 Drogi, chodniki i weście główne elewacja północna Budynek B, 46 Wykonanie izolacji termicznej stropu garażu Budynek C, 47 Murowanie szachtów instalacyjnych Budynek C, 48 Szpachlowanie szachtów instalacyjnych Budynek C, 49 Montaż stolarki okiennej Budynek D, 50 Stropodach - izolacja termiczna i pokrycie Budynek D, 51 Wykonanie izolacji termicznej stropu garażu Budynek D

K – (wiedza): 0 Projekt budowlany, 1 Projekt wykonawczy – architektura, 2 Projekt wykonawczy – konstrukcja, 3 Projekt wykonawczy - branża instalacyjna, 4 Projekt wykonawczy - branża elektryczna, 5 Protokoły zmian lokatorskich, 6 Operaty geodezyjne (tyczenie osi oraz powykonawcze), 7 Protokoły odbioru robót elewacyjnych, 8 Protokoły odbioru robót instalacyjnych (próby szczelności), 9 Protokoły odbioru robót elektrycznych, 10 Protokoły odbioru sieci zewnętrznych, 11 Protokoły odbioru wentylacji, 12 Aprobaty techniczne i deklaracje zgodności, 13 Protokoły zatwierdzenie materiałów, 14 Protokoły badań wytrzymałości betonu

Tabela I.9 Macierz szacowanego opóźnienia czasu [dni] wynikającego z braku niezbędnej wiedzy do realizacji zadania (Filename: "X") w planowanym okresie realizacji przedsięwzięcia (wiersze -zadania, kolumny – wiedza)

0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	0
0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0
0	0	0	1	1	4	0	0	10	4	0	0	1	1	0
0	1	1	0	1	4	1	0	0	4	0	1	1	1	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	0	0	0	0	2
0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	2	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Tabela I.10 Wartość poszczególnych kosztów przedsięwzięcia budowlanego pozwalająca obliczyć koszt całkowity wynikający z braku komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia (Filename: "X")

	Koszt jednostkowy realizacji danego zadania, uwzględniający koszt robocizny i sprzętu (w planowanym okresie czasu)	Planowany wzrost kosztów materiału dla danego zadania poniesiony ze względu na brak komunikacji(w planowanym okresie czasu)	Jednostkowa wartość kosztów pośrednich	Jednostkowa wartość kar umownych
Dostawa i montaż pochwytów balustrad żelbetonowych Budynek B	3945,75	0,00	5424,65	2185,73
Elewacja północna wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B	987,56	0,00	5424,65	2185,73
Elewacja południowa wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B	987,56	0,00	5424,65	2185,73
Elewacja zachodnia wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B	1975,13	0,00	5424,65	2185,73
Izolacja balkonów Budynek B	1667,75	0,00	5424,65	2185,73
Ułożenie glazury na balkonach - elewacja zachodnia Budynek B	10006,44	0,00	5424,65	2185,73
Ułożenie glazury na balkonach - elewacja południowa Budynek B	1000,65	0,00	5424,65	2185,73
Dostawa i montaż balustrad balkonowych - elewacja zachodnia Budynek B	5918,63	0,00	5424,65	2185,73
Dostawa i montaż balustrad balkonowych - elewacja południowa Budynek B	3945,75	0,00	5424,65	2185,73
Obróbka blacharska balustrad żelbetonowych Budynek B	568,06	0,00	5424,65	2185,73
Główna instalacja elektryczna Budynek B	3548,00	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja elektryczna w lokalach mieszkalnych i usługowych Budynek B	1282,85	0,00	5424,65	2185,73
Tynki Budynek B	2487,95	0,00	5424,65	2185,73
Szpachlowanie ścian działowych Budynek B	1658,63	0,00	5424,65	2185,73
Ułożenie posadzek Budynek B	4371,46	0,00	5424,65	2185,73
Okładziny izolacyjne korytarzy i mieszkań (suche zabudowy) Budynek B	1893,77	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja kanalizacji sanitarnej i deszczowej Budynek B	1276,66	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja ciepłej i zimnej wody Budynek B	3092,03	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja centralnego ogrzewania Budynek B	4519,83	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja wentylacji mechanicznej Budynek B	4970,99	0,00	5424,65	2185,73
Montaż drzwi do komórek lokatorskich Budynek B	674,50	0,00	5424,65	2185,73
Montaż bramy garażowej Budynek B	2390,00	0,00	5424,65	2185,73
Drogi i chodniki elewacja zachodnia Budynek B	1857,90	0,00	5424,65	2185,73
Murowanie ścian działowych Budynek C	1550,94	0,00	5424,65	2185,73
Tynki Budynek C	2355,26	0,00	5424,65	2185,73
Szpachlowanie ścian działowych Budynek C	1570,17	0,00	5424,65	2185,73
Montaż stolarki okiennej Budynek C	4428,87	0,00	5424,65	2185,73
Główna instalacja elektryczna Budynek C	2307,95	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja elektryczna w lokalach mieszkalnych Budynek C	3223,61	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja kanalizacji sanitarnej i deszczowej Budynek C	2519,30	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja ciepłej i zimnej wody Budynek C	1325,10	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja centralnego ogrzewania Budynek C	4272,23	0,00	5424,65	2185,73
Instalacja wentylacji mechanicznej Budynek C	4268,83	0,00	5424,65	2185,73
Roboty zewnętrzne - Sieć kanalizacji deszczowej i sanitarnej Budynek C	417,92	0,00	5424,65	2185,73
Roboty zewnętrzne - Sieć instalacji wody Budynek C	500,65	0,00	5424,65	2185,73
Przyłącze kanalizacji deszczowej Budynek C	176,47	0,00	5424,65	2185,73
Przyłącze kanalizacji sanitarnej Budynek C	176,47	0,00	5424,65	2185,73
Przyłącze wody Budynek C	211,76	0,00	5424,65	2185,73
Murowanie ścian działowych Budynek D	1550,94	0,00	5424,65	2185,73
Murowanie komórek lokatorskich Budynek D	900,00	0,00	5424,65	2185,73
Elewacja wschodnia wykonywana metodą lekką-mokrą Budynek B	1975,13	0,00	5424,65	2185,73
Ułożenie glazury na balkonach - elewacja wschodnia Budynek B	1000,65	0,00	5424,65	2185,73
Dostawa i montaż balustrad balkonowych - elewacja wschodnia Budynek B	5918,63	0,00	5424,65	2185,73
Pierwsze malowanie korytarzy i klatki schodowej Budynek B	354,47	0,00	5424,65	2185,73
Ułożenie glazury na korytarzach i klatce schodowej Budynek B	655,34	0,00	5424,65	2185,73
Montaż windy Budynek B	4564,00	0,00	5424,65	2185,73
Drogi, chodniki i weście główne elewacja północna Budynek B	1857,90	0,00	5424,65	2185,73
Wykonanie izolacji termicznej stropu garażu Budynek C	4285,71	0,00	5424,65	2185,73
Murowanie szachtów instalacyjnych Budynek C	811,93	0,00	5424,65	2185,73
Szpachlowanie szachtów instalacyjnych Budynek C	1091,31	0,00	5424,65	2185,73
Montaż stolarki okiennej Budynek D	4315,00	0,00	5424,65	2185,73
Stropodach - izolacja termiczna i pokrycie Budynek D	4900,99	0,00	5424,65	2185,73
Wykonanie izolacji termicznej stropu garażu Budynek D	4285,71	0,00	5424,65	2185,73

Załącznik II

KWESTIONARIUSZ ANKIETY

Kwestionariusz ankiety realizowany jest na potrzeby badań naukowych w ramach rozprawy doktorskiej o roboczym tytule: „System sterowania komunikacją i przepływem informacji w sieci komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego.” Informacje, które od Państwa uzyskam posłużą do analizy realizowanego tematu.

Jednostkowa ankieta jest całkowicie anonimowa, wszystkie ankiety będą analizowane zbiorczo, statystycznie. Bardzo proszę o szczere odpowiedzi. Do każdego pytania, jeżeli nie wskazano inaczej, należy zaznaczyć jedną odpowiedź stawiając znak „X” przy wybranej przez Państwa odpowiedzi.

Wypełnienie kwestionariusza zajmie około 10 minut.

METRYCZKA

1. Staż pracy w budownictwie
 - a) Poniżej 5 lat
 - b) 5-10 lat
 - c) 10-20 lat
 - d) Powyżej 20 lat

2. Czy realizował Pan/Pani kontrakt powyżej wartości 50 mln zł?
 - a) Tak
 - b) Nie

3. Jaką funkcję pełni Pan/Pani w przedsięwzięciu
 - a) Dyrektor/Kierownik kontraktu
 - b) Kierownik budowy
 - c) Kierownik robót
 - d) Inżynier budowy
 - e) Właściciel / Dyrektor / Członek zarządu przedsiębiorstwa budowlanego
 - f) Projektant
 - g) Inwestor/Inspektor nadzoru inwestorskiego
 - h) Inna, jaka?

4. Proszę podać, jeśli to możliwe, przykłady realizowanych przez Pana/Panią kontraktów.
.....

PYTANIA ZASADNICZE

5. Czy uważa Pan/Pani, że komunikacja i przepływ informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego (Inwestor, Wykonawca, Podwykonawcy, Projektant) jest istotna?
- a) Tak
 - b) Nie

Dlaczego, proszę uzasadnić?

.....

.....

.....

.....

.....

6. Ile czasu poświęca Pan/Pani na komunikację (służbowe rozmowy telefoniczne i twarzą w twarz, pisanie e-maili) w ciągu dnia pracy?
- a) 25%
 - b) 50%
 - c) 75%
 - d) 100%
7. Czy uważa Pan/Pani, że proces komunikacji pomiędzy uczestnikami na zrealizowanych dotąd przez Pana/Panią przedsięwzięciach budowlanych mógł być lepszy?
- a) Tak
 - b) Nie

8. Proszę procentowo określić w ilu procent przedsięwzięć budowlanych zrealizowanych przez Pana/Panią powinien być lepszy proces komunikacji? Proszę zaznaczyć na osi.

100% - proces komunikacji powinien być lepszy we wszystkich przedsięwzięciach

0% - proces komunikacji był dobry we wszystkich przedsięwzięciach

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%



9. Na jakim etapie przedsięwzięcia budowlanego wg Pana/Pani występują najczęściej problemów z komunikacją i przepływem informacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego? Proszę wybrać 3 odpowiedzi
- a) Planowanie inwestycji
 - b) Przygotowanie propozycji projektu
 - c) Przygotowanie projektu budowlanego
 - d) Przygotowanie projektu wykonawczego
 - e) Przetarg na wykonanie inwestycji
 - f) Negocjacje umowne
 - g) Początek realizacji przedsięwzięcia budowlanego
 - h) Realizacja przedsięwzięcia budowlanego wraz z oddaniem obiektu do użytkowania.

10. Czy uważa Pan/Pani, że bardziej efektywna komunikacja pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego umożliwi sukces przedsięwzięcia oraz wpływa pozytywnie na czas, koszt, jakość i BHP?
- a) Tak
 - b) Nie
 - c) Nie wiem
11. Które z poniższych czynników mają wpływ na sukces przedsięwzięcia budowlanego wg Pana/Pani? Proszę ponumerować: 1 –największy wpływ, 9- najmniejszy wpływ
- ... Inwestor (Inwestor, który przedstawia odpowiednio swoje wymagania i posiada odpowiedni budżet)
 - ... Komunikacja (koordynacja przedsięwzięcia, negocjacje, rozwiązania projektowe, sieć powiązań między uczestnikami)
 - ... Decyzyjność (terminowe podejmowanie decyzji)
 - ... BHP (procedury zapewniające bezpieczne warunki pracy podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego)
 - ... Zarządzanie wiedzą (posiadanie podczas realizacji przedsięwzięcia budowlanego doświadczonej i dobrze wykwalifikowanej kadry zarządzającej oraz dzielenie się posiadaną wiedzą)
 - ... Wydajność pracowników budowlanych i sprzętu (posiadanie podczas przedsięwzięcia budowlanego doświadczonej i dobrze wykwalifikowanej kadry robotniczej oraz odpowiedniego zaplecza sprzętowego)
 - ... Planowanie (panowanie całego procesu realizowanego przedsięwzięcia budowlanego, planowanie kosztów, planowanie czasu, planowanie jakości, kontrola zmian)
 - ... Zarządzanie ryzykiem (identyfikacja, ocena, monitorowanie i minimalizacja ryzyka występującego podczas wykonywania przedsięwzięcia, minimalizacja skutków zdarzeń niepożądanych)
 - ... Zarządzanie zespołem (zarządzanie zespołem kadry kierowniczej oraz pracownikami i podwykonawcami, delegowanie pracy, zaangażowanie w realizację przedsięwzięcia)
12. Czy komunikacja i przepływ informacji wg Pana/Pani generuje koszt?
- a) Tak
 - b) Nie
13. Ile procent wartości poniesionych kosztów podczas realizacji inwestycji wg Pana/Pani stanowi koszt komunikacji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego (Inwestor, Wykonawcy, Projektant)
-

14. Czy podczas realizowanych przez Pana/Panią inwestycjach budowlanych stosowano jakieś metody lub programy poprawiające efektywność komunikacji pomiędzy uczestnikami budowy? Jeśli tak to proszę wymienić.

a) Tak

.....

b) Nie

15. Czy widzi Pan/Pani potrzebę opracowania narzędzia wspomagającego (systemu informatycznego) do sterowania przepływem informacji i komunikacją pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego?

a) Tak

b) Nie

16. Jak według Pana/Pani powinien wyglądać taki system? Jakiego typu odpowiedzi uważa Pan/Pani za potrzebne? Jakie byłyby Pana/Panią oczekiwania względem takiego systemu?

.....

.....

.....

.....

.....

Załącznik III

KWESTIONARIUSZ DO BADAŃ

BUDOWA OSIEDLA MIESZKANIOWEGO WIELORODZINNEGO „BYTKOWSKA PARK” W KATWICACH

NAZWISKO

PRZEDSIĘBIORSTWO

ROLA/STANOWISKO

Badanie wykonywane jest na potrzeby pracy doktorskiej. Dane są poufne, w opracowaniu wyników nie będą użyte żadne nazwiska ani nazwy firm. W kwestionariuszu znajdują się nazwiska i nazwy firm w celu ułatwienia odpowiedzi i szybszej identyfikacji osób oraz przedsiębiorstw.

Celem tego badania jest zebranie uczestników, z którymi się Pan/Pani komunikował/a (rozmowy telefoniczne, maile, rozmowa „twarzą w twarz”) w celu realizacji poszczególnych zadań związanych z prowadzonymi pracami na realizowanych obiektach przedsięwzięcia:

Komunikacja dotycząca projektu (informacje dotyczące projektu, specyfikacje dotyczące realizowanego obiektu oraz warunki dotyczące prowadzonych robót, błędy projektowe, braki w projekcie, kolizje projektów branżowych, możliwość wprowadzenia rozwiązań zamiennych, zatwierdzanie stosowanych materiałów, zmiany lokatorskie).

Komunikacja dotycząca prowadzonych robót (harmonogram realizacji robót, przedmiary i obmiary robót, kontrola i odbiory robót częściowe/końcowe, zamówienia i dostawy materiałów, logistyka i zagospodarowanie terenu budowy oraz placów składowych, pojawiające się problemy w trakcie realizacji robót).

Komunikacja dotycząca BHP (Plan BIOZ i inne akty prawne dotyczące BHP, kontrola i nadzór nad BHP).

Komunikacja dotycząca umów i rozliczeń (umowa i inne akty prawne, protokoły przerobowe, kary umowne, rozliczenia i inne tematy finansowe).

W **Arkuszu 1** znajdują się różnego rodzaju informacje, wiedza, dokumenty niezbędne podczas realizacji robót. **Proszę o zaznaczenie „X” przy tych pozycjach do których dostęp jest potrzebny, aby zrealizować zakresu Pana/Pani robót zgodnie z harmonogramem.** Jeśli jakiejś informacji brakuje proszę dopisać ją w kolumnie poniżej.

W **Arkuszu 2** znajdują się różnego rodzaju informacje, wiedza, dokumenty niezbędne podczas realizacji robót. **Proszę o zaznaczenie „X” przy tych pozycjach do których miał(a) Pan/Pani dostęp w ramach realizacji robót na budowie osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego „BYTKOWSKA PARK” w Katowicach w ubiegłym miesiącu tj. listopad.** Jeśli jakiejś informacji brakuje proszę dopisać ją w kolumnie poniżej.

W **Arkuszu 3** znajdują się osoby i przedsiębiorstwa, które biorą udział w realizacji omawianego przedsięwzięcia. **Proszę wypełnić tabelę przy osobach i przedsiębiorstwach, z którymi się Pan/Pani komunikował(a) w listopadzie.**

Proszę o wypełnienie wszystkich 3 arkuszy.

Wypełnienie kwestionariusza zajmie około 20 minut

ARKUSZ 1

W Arkuszu 1 znajdują się różnego rodzaju informacje, wiedza, dokumenty niezbędne podczas realizacji robót. **Proszę o zaznaczenie „X” przy tych pozycjach do których dostęp jest potrzebny, aby zrealizować zakresu Pana/Pani robót zgodnie z harmonogramem.** Jeśli jakiejś informacji brakuje proszę dopisać ją w kolumnie poniżej.

Dokumenty/Informacje	Dostęp niezbędny do realizacji zakresu robót
Projekt budowlany	
Projekt wykonawczy - architektura	
Projekt wykonawczy - konstrukcja	
Projekt wykonawczy - branża instalacyjna	
Projekt wykonawczy - branża elektryczna	
Protokoły zmian lokatorskich	
Operaty geodezyjne (tyczenie osi oraz powykonawcze)	
Protokoły odbioru robót elewacyjnych	
Protokoły odbioru robót instalacyjnych (próby szczelności)	
Protokoły odbioru robót elektrycznych	
Protokoły odbioru sieci zewnętrznych	
Protokoły odbioru wentylacji	
Aprobaty techniczne i deklaracje zgodności	
Protokoły zatwierdzenie materiałów	
Protokoły badań wytrzymałości betonu	

ARKUSZ 2

W Arkuszu 2 znajdują się różnego rodzaju informacje, wiedza, dokumenty niezbędne podczas realizacji robót. **Proszę o zaznaczenie „X” przy tych pozycjach do których miał(a) Pan/Pani dostęp w ramach realizacji robót na budowie osiedla mieszkaniowego wielorodzinnego „BYTKOWSKA PARK” w Katowicach w ubiegłym miesiącu tj. listopad.** Jeśli jakiejś informacji brakuje proszę dopisać ją w kolumnie poniżej.

Dokumenty/Informacje	Dostęp w ramach budowy w listopadzie
Projekt budowlany	
Projekt wykonawczy - architektura	
Projekt wykonawczy - konstrukcja	
Projekt wykonawczy - branża instalacyjna	
Projekt wykonawczy - branża elektryczna	
Protokoły zmian lokatorskich	
Operaty geodezyjne (tyczenie osi oraz powykonawcze)	
Protokoły odbioru robót elewacyjnych	
Protokoły odbioru robót instalacyjnych (próby szczelności)	
Protokoły odbioru robót elektrycznych	
Protokoły odbioru sieci zewnętrznych	
Protokoły odbioru wentylacji	
Aprobaty techniczne i deklaracje zgodności	
Protokoły zatwierdzenie materiałów	
Protokoły badań wytrzymałości betonu	

ARKUSZ 3

W Arkuszu 3 znajdują się osoby i przedsiębiorstwa, które biorą udział w realizacji omawianego przedsięwzięcia. **Proszę wypełnić tabelę przy osobach i przedsiębiorstwach, z którymi się Pan/Pani komunikował(a) w listopadzie.**

Osoba/Przedsiębiorstwo	Komunikacja
Koordinator Nadzoru Inwestorskiego	
Inspektor Nadzoru branży elektrycznej	
Inspektor Nadzoru branży sanitarnej	
Project Manager	
Kierownik budowy	
Kierownik robót	
Inżynier budowy	
Architekt	
Koordinator ds. zmian lokatorskich	
Biuro projektowe	
Branżowe biuro projektowe ds. elektryki	
Branżowe biuro projektowe ds. instalacji sanitarnych	
Wykonawca tynków	
Wykonawca gładzi i suchej zabudowy	
Wykonawca branży elektrycznej	
Podwykonawca branży elektrycznej	
Wykonawca robót posadzgarskich	
Wykonawca bramy garażowej	
Wykonawca stolarki okiennej	
Wykonawca pokryć dachowych i tarasów	
Wykonawca stolarki drzwiowej	
Wykonawca instalacji C.O. i wod.-kan.	
Wykonawca instalacji wentylacji	
Wykonawca elewacji i okładzin posadzek balkonowych	
Wykonawca balustrad	
Wykonawca robót murarskich	
Wykonawca instalacji zewnętrznych	
Wykonawca zagospodarowania terenu	
Wykonawca powłok malarskich	
Wykonawca wykonujący dostawę i montaż windy	
Wykonawca usług glazurniczych	
Wykonawca izolacji termicznej stropów garażu	