

Myślenie systemowe w proaktywnym podejściu do planowania przedsięwzięć budowlanych w warunkach ryzyka

Dr inż. Grzegorz Śladowski, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Mimo świadomości planistów o braku możliwości pozyskania dokładnych informacji o podstawowych parametrach (czasów i kosztów realizacji zadań) planowanego przedsięwzięcia, a także warunkach jego przyszłej realizacji w tradycyjnym podejściu do planowania przedsięwzięć budowlanych nadal dominuje podejście reaktywne i zdeintegrowane [1]. Wykorzystywane do modelowania przedsięwzięć tzw. sieci zadaniowe oraz podstawowe metody ich analizy, takie jak CPM, PERT, GERT itd. nie są wystarczające do efektywnego planowania i oceny wydajności złożonych przedsięwzięć. Podejścia te nie odzwierciedlają w pełni charakteru takich systemów i zachodzących w nich współzależności zarówno technicznych [2], jak i tych społecznych, wynikających z interakcji pomiędzy uczestnikami przedsięwzięć w ramach wymiany potrzebnych informacji [3]. Pełne modelowanie struktury złożonych systemów, analiza ich dynamicznych zachowań i w konsekwencji identyfikacja ich emergentnych właściwości są więc kluczowe w proaktywnym podejściu do planowania przedsięwzięć budowlanych w warunkach ryzyka.

2. Ryzyko w planowaniu przedsięwzięć budowlanych

Trudności w osiągnięciu planowanego budżetu i terminu realizacji przedsięwzięcia często są związane z wysokim poziomem ryzyka, które towarzyszy takim realizacjom. Ryzyko wywodzi się z języka staro włoskiego (*risicare*) i oznacza „odważyć się”, co raczej należy kojarzyć je z podejmowaniem decyzji, a nie z nieuchronnym przeznaczeniem [4]. W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele definicji ryzyka, lecz z większości z nich wynika, że w odróżnieniu od niepewności sensu stricto można go zmierzyć. Planowanie przedsięwzięć budowlanych w warunkach ryzyka uwzględnia trzy zasadnicze etapy: identyfikację czynników ryzyka, jego ocenę oraz reakcję na nie [5]. Identyfikacja czynników ryzyka może być dokonywana z poziomu makro- i mikrooczenia oraz samego przedsięwzięcia [6], a czynniki te mogą przyjmować charakter prawny, ekono-

miczny, techniczny czy też organizacyjny [7]. Ważną cechą ryzyka jest jego podmiotowość, co oznacza, że identyfikacja konkretnych czynników ryzyka jest zależna od interesariuszy (inwestora projektanta, wykonawcy itd.) [8]. Zasadniczo ocena wpływu ryzyka na przedsięwzięcie opiera się o tzw. miarę ryzyka, która zgodnie z poniższą formułą łączy prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia z jego skutkami, jakie ono powoduje [9].

$$R = f(P, W) \quad (1)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia, W – wpływ zdarzenia na przedsięwzięcie.

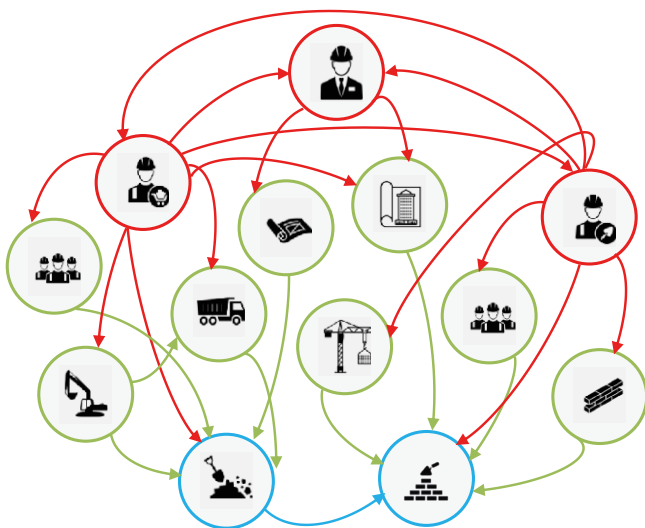
Reakcja na ryzyko nie powinna wiązać się z akceptacją negatywnych jego skutków, a raczej skupiać się na sposobach jego unikania, redukcji czy też przeniesieniu na inne podmioty [5, 6].

W literaturze przedmiotu zwraca się jednak uwagę, że w klasycznym podejściu do analizy jakościowej i ilościowej ryzyka nie uwzględnia się złożoności badanego przedsięwzięcia oraz jego emergentnych właściwości, które są rodzajem odpowiedzi systemu na wpływ ryzyka [2, 10].

3. Przedsięwzięcie budowlane to system złożony

Przedsięwzięcie budowlane to złożony, otwarty system organizacyjny o tymczasowym charakterze [2]. Zgodnie z ogólną teorią systemów [11, 12] przedsięwzięcie budowlane należy rozumieć jako zbiór powiązanych elementów (zadania, ludzie, maszyny, materiały i wiedza) zorientowanych na osiągnięcie konkretnego celu (rys. 1).

W ujęciu systemowym całość przedsięwzięcia jest czymś więcej niż tylko sumą jego elementów, a zrozumienie zachowania złożonego systemu wyłącznie w oparciu o badanie jego zdekomponowanych pojedynczych elementów nie jest możliwe. Zmiany w strukturze powiązań systemu z reguły przekładają się na zmianę jego zachowania, a występujące tzw. sprzężenia zwrotne powodują, że skutek danego zachowania jest jednocześnie jego przyczyną [13]. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na fakt, że działanie wielu



Rys. 1. Schemat ideowy złożonego systemu, jakim jest przedsięwzięcie budowlane (źródło: opracowanie własne)

systemów w tym przedsięwzięciach budowlanych opiera się na przepływie informacji, która spaja system [12]. Złożoność przedsięwzięcia budowlanego jako systemu to złożoność zawartych w nim szczegółów (ang. *detail complexity*), która wynika z jego struktury i nie jest zależna od czasu oraz złożoność dynamiczna (ang. *dynamic complexity*), będąca efektem zachowań operacyjnych systemu ewoluujących w czasie. Złożoność systemu powoduje, że zmiana w jednym miejscu w systemie (spowodowana np. czynnikami ryzyka) może poprzez jej propagację prowadzić do powstania dodatkowych nieprzewidzianych zakłóceń w innej jego części. Ważnymi cechami złożonych systemów są ich emergentne właściwości, które są efektem współzależnych i dynamicznych relacji pomiędzy elementami zawierającymi się w tych systemach [10]. W literaturze przedmiotu zidentyfikowano wiele emergentnych właściwości systemu [14], jednak te najbardziej istotne z perspektywy oceny ryzyka przedsięwzięciach budowlanych to: podatność, zdolność adaptacyjna i w konsekwencji odporność systemu [10].

4. Odporność systemowa

Zhang [15] zwrócił uwagę na konieczność oceny podatności systemu (ang. *project vulnerability*) jako ważnej jego cechy w analizie ryzyka. Podatność systemu charakteryzuje jego zdolność do reakcji na czynniki ryzyka. Im niższa podatność, tym lepiej system radzi sobie z ryzykiem. Podatność systemu zależy od jego elementów (np. zadań do wykonania, dostępnych zasobów itp.) i relacji między nimi (np. przydział zasobów do zadań, komunikacja między uczestnikami przedsięwzięcia itp.), których charakter może wpływać na rodzaj i wielkość potencjalnych zakłóceń spowodowanych czynnikami ryzyka. Podatność to cecha wewnętrzna złożonych systemów i ma znaczenie dopiero w sytuacji zagrożenia [15]. Zmniejszenie

wpływu ryzyka na przedsięwzięcie nie zmieni podatności tego przedsięwzięcia [16]. Przykładowo, ubezpieczenie placu budowy od ryzyka kradzieży materiałów i maszyn budowlanych nie zmniejszy podatności tego przedsięwzięcia na kradzież tych zasobów, ale odpowiednie zabezpieczenia placu budowy m.in. poprzez odpowiednie delegowanie pracowników ochrony, zamykanie magazynów itp. już tak [17]. Ważny jest też fakt, że długotrwały charakter podatności systemu na czynniki ryzyka przyczynia się do zwiększenia prawdopodobieństwa wystąpienia zakłóceń w systemie [15].

Jeżeli zakłócenia już wystąpią, kolejną emergentną cechą przedsięwzięcia będzie istotna, którą jest zdolność adaptacyjna (ang. *adaptive capacity*) do zmieniających się warunków jego realizacji. Cecha ta określa zazwyczaj czas, jaki musi upłynąć lub koszty, jakie trzeba ponieść, aby system powrócił do pierwotnego stanu równowagi albo przeszedł do nowego stanu, jeśli poprzedni stan nie będzie już możliwy do osiągnięcia. Przykładowo, awaria systemu elektroenergetycznego kluczowego dla przedsięwzięcia tunelowania spowoduje przerwanie realizacji prac na czas jego naprawy, względnie sprowadzenia nowego. Zdolność adaptacyjna tego przedsięwzięcia będzie większa, jeśli wykonawca będzie dysponował na placu budowy drugim zapasowym systemem elektroenergetycznym, którego uruchomienie w takiej sytuacji będzie natychmiastowe [10]. Zdolność adaptacyjna przedsięwzięcia może być zmienna w czasie np. z powodu zmniejszenia lub zwiększenia jego zakresu czy też sposobu realizacji prac [18]. Jak pokazują wyniki badań [14], w zwiększaniu zdolności adaptacyjnej przedsięwzięciach budowlanych kluczowe są między innymi: umiejętność szybkiego podejmowania decyzji, zdolność do wypracowania alternatywnych rozwiązań projektowych czy też stosowanych technologii realizacji, elastyczne podejście do organizacji pracy, jak również skłonność do współpracy, w tym sprawna komunikacja. Podatność i zdolność adaptacyjna złożonego systemu prowadzą do jego odporności (ang. *resilience*) na wpływ czynników ryzyka. W literaturze można znaleźć wiele definicji odporności różnych złożonych systemów w tym przedsięwzięciach budowlanych [19]. Z definicji tych wynika, że odporność systemowa przedsięwzięciach budowlanych jest emergentną ich cechą i wynika ze współzależnych relacji elementów w systemie oraz ich dynamicznych zachowań.

Wyniki z przeprowadzonych badań studiów przypadku przedsięwzięciach budowlanych [10] pozwoliły na pozytywne zweryfikowanie następujących hipotez:

- podatność systemów jest dodatnio skorelowana z ich złożonością i wystawieniem na czynniki zakłócające;
- zmiana poziomu podatności i zdolności adaptacyjnej systemów zmienia poziom ich odporności;
- odporność systemów jest ujemnie skorelowana z ich podatnością, zaś dodatnio ze zdolnością adaptacyjną.

5. Ocena odporności systemowej

W literaturze przedmiotu większość badań nad identyfikacją odporności systemowej planowanych przedsięwzięć budowlanych ma charakter jakościowy. Obecnie rozwijane ilościowe podejście [10, 19] wykorzystuje do modelowania i analizy złożonych systemów teorię heterogenicznych sieci zależności. Zgodnie z koncepcją metasieci [20–22] struktura modelu systemu zawiera różne rodzaje węzłów symbolizujące elementy systemu, takie jak np. zasoby ludzkie, informacje, maszyny, materiały i zadania oraz wiele typów połączeń między tymi elementami.

Analiza podatności systemu polega na symulowanej materializacji czynników ryzyka, które odpowiednio zmieniają strukturę jego modelu, powodując utratę wybranych węzłów i połączeń, co potencjalnie przekłada się na zakłócenia w systemie. Ocena zdolności adaptacyjnej systemu do radzenia sobie z zakłóceniami związana jest z analizą upływu czasu [10] lub z poniesieniem ewentualnych kosztów [19] związanych z powrotem systemu do stanu równowagi. W pracach [10, 19] zaproponowano, aby miara odporności systemowej była wyrażana wartością odchylenia od czasu i kosztów realizacji planowanego przedsięwzięcia oszacowanych bez uwzględnienia wpływu ryzyka (rys. 2).

6. Podejście proaktywne

Nadal często stosowane w praktyce mało efektywne reaktywne planowanie przedsięwzięć budowlanych powinno być zamienione na podejście proaktywne zgodnie z zasadą „lepiej zapobiegać niż leczyć”. Należy bowiem pamiętać, że w złożonych systemach zakłócenia (spowodowane np. wpływem ryzyka) z powodu opóźnień przekazów informacji zwrotnych w momencie ich ujawnienia mogą już być zbyt trudne do rozwiązania [12], co w tym przypadku

dyskwalifikuje skuteczność idei reaktywnego podejścia. W literaturze przedmiotu można znaleźć nieliczne przykłady dotyczące proaktywnego podejścia do planowania przedsięwzięć budowlanych. W pracach tych zwrócono uwagę na pojęcie tzw. harmonogramowania predyktywnego (ang. *predictive scheduling*), w ramach którego dąży się do uodpornienia harmonogramu na potencjalne zakłócenia (spowodowane wpływem ryzyka) w odniesieniu do terminów rozpoczęcia poszczególnych zadań lub terminu zakończenia całego przedsięwzięcia. Zaproponowano więc wiele różnych koncepcji alokacji ryzyka poprzez np. korekty rozkładów prawdopodobieństwa czasów i kosztów realizacji zadań, wykorzystanie metod szeregowania tych zadań lub umieszczenie buforów w harmonogramie [23–25].

Niezależnie od powyższych koncepcji rozwijane jest proaktywne podejście do zwiększania odporności systemowej przedsięwzięć budowlanych na wpływ czynników ryzyka [10, 19]. Bazując na tzw. myśleniu systemowym, autorzy prac [10, 19, 26] poddali analizie różne złożone systemy i potwierdzili skuteczność podstawowych strategii zwiększania odporności systemowej przedsięwzięć budowlanych. Zatem podstawowe strategie zwiększania odporności systemowej przedsięwzięć budowlanych, których reprezentację strukturalną zawiera tabela 1, są następujące:

- **decentralizacja w realizacji procesów** wiąże się dążeniem do różnorodności i zmniejszania współzależności w systemie, co czyni go bardziej odpornym na wpływ ryzyka, np. zadania w miarę możliwości powinny być realizowane przez różnych wykonawców;
- **redundancja systemowa** wiąże się z nadmiarowością w systemie i jej zastosowanie powoduje, że np. prawdopodobieństwo awarii równocześnie dwóch (tego samego typu) maszyn budowlanych użytych do realizacji zadania jest o wiele niższe niż w przypadku awarii jednej takiej

Rys. 2. Schemat ideowy podejścia ilościowego do badania odporności złożonego systemu (np. planowanego przedsięwzięcia budowlanego); źródło: opracowanie własne na podstawie [10, 19]

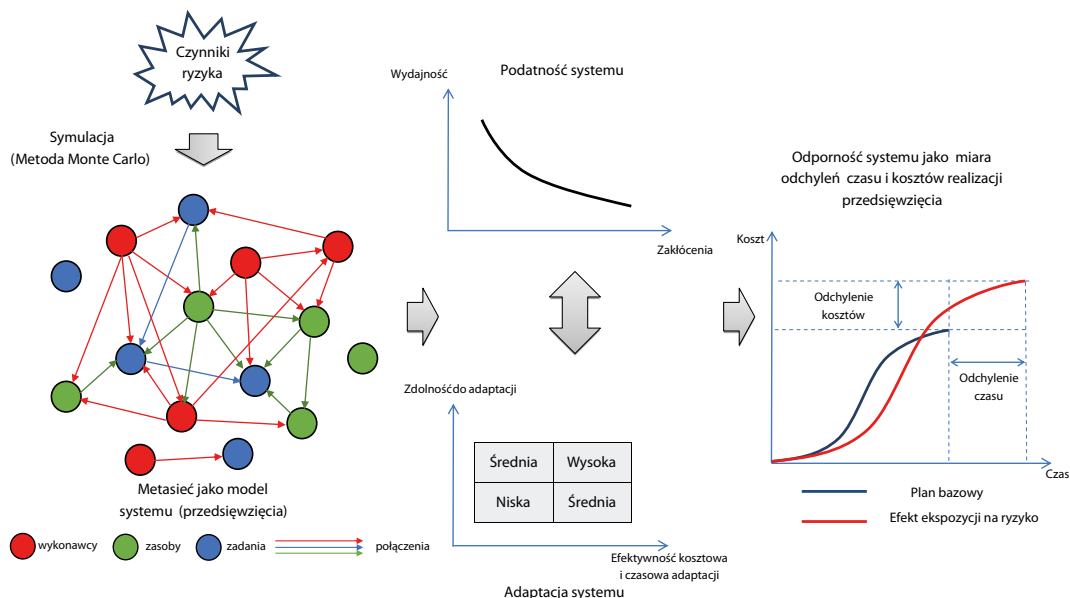


Tabela 1. Reprezentacja strukturalna podstawowych strategii zwiększania odporności systemowej (źródło: opracowanie własne)

Nazwa strategii zwiększania odporności systemowej	Wyjściowy model systemu	Model systemu z uwzględnieniem strategii zwiększania odporności systemowej	
Decentralizacja w realizacji procesów			
Redundancja systemowa			
Rozwiązania zamienne w zakresie zasobów			
Rozwiązania zamienne w zakresie zadań			
Współpraca			
Oznaczenie symboli			
—————> połączenia		- - - - -> połączenia alternatywne	

maszyny. Redundancja choć czasem jest dosyć kosztowna w uzasadnionych przypadkach może przynieść wymierne korzyści;

- **rozwiązania zamienne w zakresie zasobów** polegają na wprowadzeniu alternatywnych mniej podatnych na wpływ czynników ryzyka rozwiązań zamiennych, np. rozważenie zatrudnienia pracowników budowlanych o różnym stopniu kwalifikacji;
- **rozwiązania zamienne w zakresie zadań** polegają na wprowadzeniu alternatywnych mniej podatnych na wpływ czynników ryzyka rozwiązań zamiennych, np. w ramach

realizacji prac związanych z podbijaniem fundamentów można je wykonać metodą tradycyjną (podkop pod fundament i wykonanie podbicia) lub z wykorzystaniem mikropali w formie iniekcji;

- **współpraca** może polegać na stworzeniu warunków dla tzw. relacji partnerskich pomiędzy uczestnikami przedsięwzięcia budowlanego. Przykładowo: w sytuacji utraty jakiegokolwiek zasobu przez danego uczestnika oznacza, że może on liczyć na wsparcie ze strony innych uczestników w ramach udostępnienia sobie wzajemnie wiedzy lub innych zasobów potrzebnych do realizacji zadania.

Wykorzystane (na etapie planowania) schematy strukturalne podstawowych strategii zwiększania odporności systemowej przedsięwzięć budowlanych (poprzez odpowiednie wprowadzanie ich do struktury metasieciowego modelu rozważanego systemu) powinny być poddane procesowi optymalizacji [19]. W konsekwencji zostaną wybrane takie strategie, których wykorzystanie (w sposób co najmniej suboptymalny) zwiększy odporność planowanego przedsięwzięcia budowlanego.

7. Podsumowanie

Przedsięwzięcie budowlane to złożony system, który zawiera wiele elementów, takich jak np. zadania, ludzie, maszyny, materiały i wiedzę, pomiędzy którymi zachodzą różne relacje.

W myśleniu systemowym analiza wpływu niekorzystnych zdarzeń losowych na czas realizacji i koszt planowanego przedsięwzięcia powinna uwzględniać identyfikację podstawowych emergentnych właściwości tego złożonego systemu, jakimi są podatność na czynniki ryzyka, a także zdolność adaptacyjna, które w konsekwencji przełożą się na jego odporność systemową. Taka analiza jest punktem wyjścia do rozważenia wprowadzenia zmian w systemie, aby był on mniej podatny na zagrożenia i jeszcze lepiej przystosowany do zmian wywołanych czynnikami ryzyka. Zgodnie z określeniem: „Nie stawiaj wszystkiego na jedną kartę” oznacza, że zróżnicowany system mający wiele odpowiednich połączeń i redundancji okazuje się być stabilniejszy i mniej podatny na zakłócenia niż system o jednolitym charakterze [12].

Idea proaktywnego podejścia w planowaniu przedsięwzięć budowlanych (zgodnie z myśleniem systemowym) może się sprowadzać do zastosowania różnych podstawowych strategii zwiększania odporności systemowej na czynniki ryzyka.

Istotnym zagadnieniem, nad którym warto pracować w przyszłości, jest problem szacowania precyzyjnych i rzetelnych danych wejściowych do modelu systemu związanych z: faktem zależności pomiędzy niektórymi czynnikami ryzyka, prawdopodobieństwem ich materializacji, a także zmienności czasu i kosztów realizacji planowanych zadań jako odpowiedzi na skutki wpływu ryzyka.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Trocki M., Wyrozębski P., Planowanie przebiegu projektów, Oficyna Wydawnicza SGH, Warszawa, 2015
- [2] Zhu J., Mostafavi A., Ahmad I., System-of-systems modeling of performance in complex construction projects: A multi-method simulation paradigm, *Computing in Civil and Building Engineering* 2014, str. 1877–1884
- [3] Pryke S., Badi S., Almadhoob H., Soundararaj B., Addyman S., Self-organizing networks in complex infrastructure projects, *Project management journal*, 49(2)2018, str. 18–41
- [4] Bernstein P. L., Przeciw Bogom. Niezwykłe dzieje ryzyka, WIG-Press, Warszawa, 1997
- [5] Dziadosz A., Przegląd wybranych metod wspomagających analizę ryzyka przedsięwzięć budowlanych, *Przegląd Budowlany* 7–8/2010, str. 76–80
- [6] Skorupka D., Metoda identyfikacji i oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć budowlanych, Wojskowa Akademia Techniczna, 2007
- [7] Jaśkowski P., Biruk S., Analiza czynników ryzyka czasu realizacji przedsięwzięć budowlanych, *Czasopismo Techniczne Budownictwo*, 107(1-B), 2010, str. 157–166
- [8] Bizon-Górecka J., Górecki J., Ryzyko przedsięwzięć budowlanych w perspektywie podmiotowej, *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* 28(2)2019, str. 244–256
- [9] Tomczak M., Bucoń R., Propozycja metodyki oceny ryzyka czasu i kosztu realizacji przedsięwzięć budowlanych, *Autobusy* 6/2016, str. 1782–1788
- [10] Zhu J., A System-of-Systems Framework for Assessment of Resilience in Complex Construction Projects, Doctoral dissertation, Florida International University, Miami, Florida, 2016
- [11] Von Bertalanffy L., General system theory, a new approach to unity of science. Towards a physical theory of organic teleology, feedback and dynamics, *Human biology* 4/1951, str. 346–361
- [12] Meadows D. H., Myślenie systemowe. Wprowadzenie, Helion, 2020
- [13] Zukowski P., Podstawy budowy modelu dynamiki systemu zarządzania oraz jego symulacja w organizacji gospodarczej (na podstawie metodologii dynamiki systemów JW Forrester), *Przedsiębiorczość-Edukacja*, 8/2012, str. 331–347
- [14] Zhu J., Mostafavi A., Discovering complexity and emergent properties in project systems: A new approach to understanding project performance. *International journal of project management*, 35(1)2017, str. 1–12
- [15] Zhang H., A., Redefinition of the project risk process: Using vulnerability to open up the event-consequence link, *International Journal of Project Management* 25(7)2007, str. 694–701
- [16] Agarwal J., Blockley D. I., Structural integrity: hazard, vulnerability and risk, *International Journal of Materials and Structural Integrity* 1(1–3) 2007, str. 117–127
- [17] Dikmen I., Birgonul M. T., Fidan, G., Assessment of project vulnerability as a part of risk management in construction, In *Proceedings of Joint 2008 CIB W065/W055 Symposium 2008*, str. 15–17
- [18] Rahi K., Project resilience: a conceptual framework, *International Journal of Information Systems and Project Management* 7(1)2019, str. 69–83
- [19] Śladowski G., *Metasieci w proaktywnym podejściu do planowania rewaloryzacji zabytkowych obiektów budowlanych*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2020
- [20] Krackhardt D., Carley K. M., PCANS model of structure in organizations, Pittsburgh, Pa, USA: Carnegie Mellon University, Institute for Complex Engineered Systems, Pittsburgh 1998, str. 113–119
- [21] Śladowski G., Use of Meta-Networks to Evaluate Key Agents, Knowledge and Resources in the Planning of Construction Projects, *Archives of Civil Engineering* 64(3)2018, str. 111–129
- [22] Śladowski G., 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)2019, str. 192–202
- [23] Jaśkowski P., Methodology for enhancing reliability of predictive project schedules in construction, *Eksploracja i Niezawodność* 17(3)2015, str. 470–479
- [24] Krzemiński M., Construction scheduling and stability of the resulting schedules, *Archives of Civil Engineering*, 62(2)2016, str. 89–100
- [25] Skorupka D., Metoda identyfikacji i oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć budowlanych, Wojskowa Akademia Techniczna, 2007
- [26] Schroeder K., Hatton M., Rethinking risk in development projects: from management to resilience, *Development in Practice* 22(3)2012, str. 409–416

ORGANIZATOR



GŁÓWNY PARTNER BRANŻOWY



PARTNER GŁÓWNY



PARTNER SESJI TEMATYCZNEJ



Najważniejsze spotkanie branży budowlanej!

VI FORUM

[B]udownictwo w Polsce 2022

7 października 2021, Warszawa

www.forum-budownictwo.com