

mgr inż. Alicja Ostrowska^{1*)}

ORCID: 0000-0002-5514-0719

dr inż. Grzegorz Jakubowski¹⁾

ORCID: 0000-0001-9662-5723

dr hab. inż. Ryszard Chmielewski¹⁾

ORCID: 0000-0001-5662-9180

dr inż. Andrzej Wolniewicz¹⁾

ORCID: 0000-0002-6408-742X

mgr inż. Erik Mikulski¹⁾

ORCID: 0000-0001-5453-4954

Identification of execution-related factors and their impact on the assembly time of modular bridge spans

Identyfikacja czynników realizacyjnych oraz ich wpływ na czas montażu przęseł mostów składanych

DOI: 10.15199/33.2026.03.04

Abstract. This paper aims to identify execution-related factors that influence the duration of construction of the span portion of modular bridges. The factors were indicated based on the author's own experience and subsequently compared with the results of interviews. The comparison results were analysed using a developed theoretical model, which enabled the specification and validation of the set of factors that most strongly affect the actual overall assembly time of modular bridge span structures.

Keywords: modular bridges; location-related factors; human factors; questionnaire survey; construction process duration.

Streszczenie. W artykule podjęto próbę zidentyfikowania czynników realizacyjnych, mających wpływ na czas budowy części przęsłowej mostów składanych. Czynniki te wskazano na podstawie doświadczeń własnych i porównano z wynikami wywiadu eksperckiego. Wyniki przeanalizowano, wykorzystując opracowany model teoretyczny, co pozwoliło sprecyzować i uwiarygodnić zbiór czynników najbardziej oddziałujących na czas montażu konstrukcji przęsłowej.

Słowa kluczowe: mosty składane; czynniki lokalizacyjne; czynniki osobowe; badania ankietowe; czas trwania procesu budowlanego.

In the construction project planning process, parameters such as execution time, cost, scope of work, quality, and the manner of execution of the construction process constitute the most important characteristics. These parameters depend, among others, on the type and size of the facility, the adopted structural solutions, the applied production technologies, and the type of equipment used.

Based on the authors' own professional experience and research, a set of execution-related factors influencing the construction time of the span structure of the DMS-65. Similar issues were addressed by Kristowski [1]; however, that analysis concerned the construction of modular supports of the SPS-69B type. An additional justification for undertaking research within the proposed scope is the fact that, over the past several decades (from 1965 to 2026), the equipment of engineering units of the Armed Forces of the Republic of Poland has undergone significant modernization. These units constitute the primary contractors responsible for the construction of such structures.

This paper analyses the assembly process of the basic configuration of the DMS-65 bridge span structure, executed using the primary method, namely by assembling individual structural elements at an assembly yard located along the bridge axis, followed by longitudinal launching of the spans onto previously constructed bridge supports. This method includes preparatory works, the key activities of which comprise the preparation of the assembly yard and the installation of the launching nose, as well

W procesie planowania przedsięwzięcia budowlanego parametry takie, jak czas realizacji, koszty, zakres prac, jakość i sposób wykonania procesu budowlanego zależą m.in. od rodzaju i wielkości obiektu, przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych, technologii ich produkcji oraz rodzaju wyposażenia.

Na podstawie doświadczeń własnych i badań określono czynniki realizacyjne wpływające na czas budowy konstrukcji przęsłowej mostu składanego typu DMS-65. Podobną tematykę poruszał Kristowski [1], ale analizy dotyczyły budowy podpór składanych typu SPS-69B. Dodatkowym czynnikiem uzasadniającym podjęcie badań w proponowanym zakresie jest fakt, że przez ostatnie kilkadziesiąt lat (od 1965 r. do 2026 r.) nastąpiła modernizacja wyposażenia pododdziałów inżynierskich Sił Zbrojnych RP, które są głównym wykonawcą tego typu obiektów.

W artykule przeanalizowano proces montażu układu podstawowego konstrukcji przęsłowej mostu DMS-65, realizowanego metodą zasadniczą, tj. przez montaż pojedynczych elementów konstrukcji na placu zlokalizowanym w osi mostu, z nasuwaniem podłużnym przęseł na uprzednio wykonane podpory mostu. Technologia obejmuje prace przygotowawcze, wśród których kluczowe są: przygotowanie placu montażowego; instalacja dzioba montażowego (awanbku); prace zasadnicze polegające na montażu poszczególnych elementów ustroju nośnego przęsła/przęseł mostu oraz nasuwaniu i ustawieniu zmontowanych przęseł na podporach.

¹⁾ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

^{*}) Correspondence address: alicja.ostrowska@wat.edu.pl

as the main works involving the assembly of individual elements of the load-bearing system of the bridge span(s) and the launching and positioning of the assembled spans on the supports.

The aforementioned preparatory works and the assembly of the bridge span structure were analysed as a comprehensive construction process. In the main part of the paper, an attempt was made to identify the key factors influencing the assembly time of modular bridge span structures (*mbss*). Subsequently, the significance of these factors was assessed based on the authors' own experience and the results of an interview conducted with a group of military experts in the field of military engineering, specialising in bridge construction. This paper constitutes an introductory stage for further analysis of the impact of human and location-related factors on the assembly time of modular bridge span structures.

Characteristics of modular bridge

Modular bridges (*mb*) are engineering structures composed of prefabricated elements, including truss elements (planar or spatial), longitudinal linear elements of the bridge support belts, cross-beams, wall bracing members, wind bracing, deck panels, kerbs, struts, and connectors. The characteristic features of modular bridge structures include a relatively small number of component types, the possibility of repeated assembly and disassembly, a relatively high construction rate, the ability to form multiple transverse bridge configurations, diversified and modular span lengths, and the achievement of relatively high load-bearing capacities.

The DMS-65 road modular bridge is a bridge system used by engineering units of the Armed Forces of the Republic of Poland and also included in the national strategic reserves. In the basic configuration, the bridge provides one-way traffic with a carriageway width of 4.2 m. The bridge may be assembled as a simply supported structure, with span lengths of up to 39 m, or as a continuous beam structure, with span lengths of up to 36 m. The load-bearing capacity of the bridge spans ranges from 30 to 80 tonnes (MLC 40 – 80), depending on the span length and the adopted structural and assembly configurations. The weight of one metre of the bridge span structure ranges from 10 to 17.5 kN/m (approximately 15 kN/m for the analysed basic configuration). Figure 1 presents a side view and a cross-section of a repetitive 3 m segment of the DMS-65 bridge span in the basic configuration without sidewalks, together with an indication of the main structural components.

Wymienione prace przygotowawcze oraz montaż konstrukcji przęsłowej mostu badano jako kompleksowy proces budowlany. Podjęto próbę identyfikacji zasadniczych czynników, mających wpływ na czas montażu konstrukcji przęsłowej mostów składanych (*kpms*) i określono ich istotność na podstawie doświadczeń własnych oraz opinii ekspertów wojskowych z dziedziny inżynierii wojskowej o specjalności budowa mostów. Artykuł stanowi część wstępną do dalszej analizy wpływu czynników ludzkich i lokalizacyjnych na czas montażu *kpms*.

Charakterystyka mostów składanych

Mosty składane (*ms*) to obiekty inżynierskie złożone z uprzednio przygotowanych elementów, wśród których są: elementy kratownicowe (płaskie lub przestrzenne); podłużne elementy liniowe pasów nośnych mostu; belki poprzeczne; tężniki ścian; wiatrownice; panele jezdni; krawężniki; zastrzały oraz łączniki. Ich cechy charakterystyczne to: niewielka liczba elementów składowych; możliwość wielokrotnego montażu i demontażu; względnie duże tempo budowy; możliwość kształtowania kilku układów poprzecznych mostu; zróżnicowana i modułarna rozpiętość przęseł oraz względnie duża nośność mostu.

Drogowy most składany (DMS-65) jest na wyposażeniu pododdziałów inżynierskich Sił Zbrojnych RP i znajduje się w składach krajowych rezerw strategicznych. W układzie podstawowym (UP), zapewnia ruch jednokierunkowy z jezdnią szerokości 4,2 m. Most może być montowany w układzie statycznym wolnopodpartym (rozpiętość przęseł do 39 m) oraz w układzie belki ciągłej (rozpiętość przęseł do 36 m). Nośność przęseł mostu to 30 – 80 ton (MLC 40 – 80) w zależności od rozpiętości oraz przyjętych układów statycznego i montażowego. Ciężar konstrukcji przęsła mostu wynosi $10 \div 17,5$ kN/m (blisko 15 kN/m w przypadku rozpatrywanego układu podstawowego). Na rysunku 1 przedstawiono widok z boku i przekrój poprzeczny powtarzalnego segmentu przęsła mostu DMS-65 w układzie podstawowym bez chodników z zasadniczymi elementami składowymi.

Średnie tempo montażu konstrukcji przęsłowej mostu typu DMS-65 metodą zasadniczą jest zróżnicowane. W przypadku segmentu trzymetrowego wynosi ok. 40 min wg [2], natomiast ok. 34 min zgodnie z oryginalnym pod-

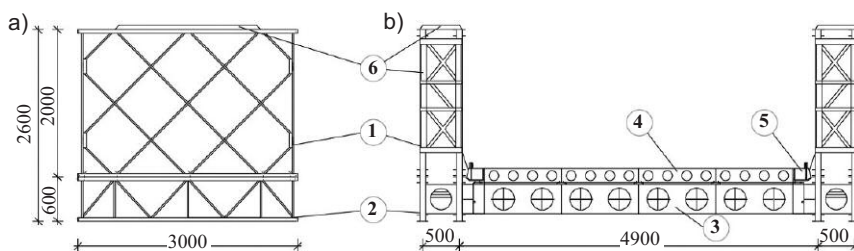


Fig. 1. DMS-65 bridge segment in the basic configuration without sidewalks: a) side view; b) cross-section: 1 – panel; 2 – spatial truss; 3 – transom; 4 – road plate; 5 – ribband; 6 – bracing frame

Rys. 1. Segment mostu DMS-65 w układzie podstawowym bez chodników: a) widok z boku; b) przekrój poprzeczny: 1 – płaski element kratownicowy; 2 – przestrzenny element kratownicowy; 3 – belka poprzeczna; 4 – płyta jezdni; 5 – krawężnik, 6 – tężnik

Rys. opracowanie własne na podstawie [2]

The average assembly rate of the DMS-65 bridge span structure using the primary method is reported inconsistently in the available literature. According to [2], it is approximately 40 minutes per 3 m segment. In contrast, the original bridge manual [3] indicates that five teams, each consisting of 12 assemblers and operators, performing tasks in parallel, are able to assemble a 3 m bridge segment in approximately 34 minutes. However, these values represent combat norms, and therefore cannot be regarded as representative average times. According to estimates developed at the Military University of Technology for the 1998 Catalogues of Standard Work Inputs, the assembly time amounts to 2.32 man-hours per tonne of structure. This implies that for a segment in the basic configuration (approximately 4.5 t), the required labour input is 10.44 man-hours, i.e., 626.4 minutes. Assuming a 12-person team, the average assembly time of a 3 m segment is therefore approximately 52 minutes.

The primary application of modular bridge structures is military use. In military operations, bridges of this type are intended to ensure mobility for logistic units operating in rear areas; therefore, they function as logistic bridges (Photo 1). Beyond military activities, that is, in peacetime, modular bridges may also be applied in a range of other contexts. For example, modular bridges are erected during the refurbishment of permanent bridge structures, such as the detour bridge: near Wiza (Photo 1b), in Kalisz [4] or in Ostrołęka [5]. They also provide a rapid solution for the restoration of transport infrastructure damaged by natural disasters, including a temporary bridge in Szeligi [4], temporary modular bridges erected after flooding in south-western Poland in 2024, and assistance in

a) the reconstruction of bridges in Slovenia following the 2023 floods [6]. Other, less typical examples of the application of modular bridge structures include the construction of temporary modular bridges providing access for World Youth Day near Kraków in 2016, as well as a bridge between islands in Namysłów on the Widawa River, which was necessary to carry out the revitalisation of the island (2023).

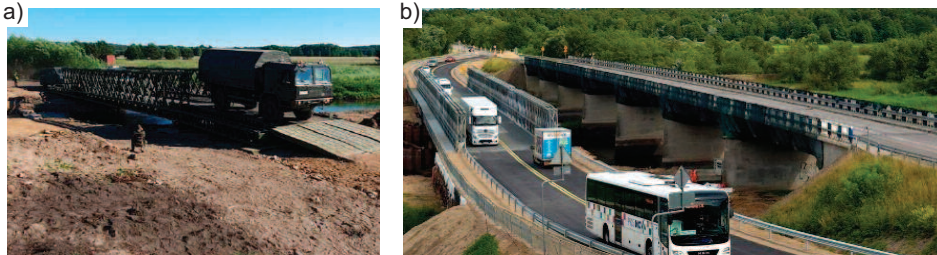


Photo 1. Examples of the use of modular bridges: a) at the military training ground in Orzysz; b) as a detour bridge near Wiza [7]

Fot. 1. Przykład zastosowania mostów składanych: a) na poligonie w Orzyszu; b) jako most objazdowy pod Wizną [7]

Expert opinion questionnaire survey

Objectives, Scope, and Research Procedure. In order to involve a group of selected military experts in the study, a questionnaire survey was organised and conducted within the scope of the discussed issues related to the construction of modular bridges. The issues addressed in the questionnaire included:

- evaluation the composition of the assembly team (Table 1), and the scope of its tasks and equipment (1 question);
- identification and assessment of execution-related factors determining the overall construction time of the span structure of the DMS-65 modular bridge (1 question);
- assessment of the influence of experience on the construction time of the DMS-65 bridge span structure, with respect to the assembly team and the lifting equipment operator (1 question);

• ręcznikiem mostu [3], gdy montuje go 5 zespołów liczących po 12 monterów i operatorów, wykonujących czynności równolegle. Z danych Wojskowej Akademii Technicznej zawartych w Katalogu Nakładów Rzeczowych z 1998 r. wynika, że montaż 1 tony konstrukcji trwa 2,32 r-g. Zatem w przypadku segmentu w układzie podstawowym o masie ok. 4,5 t wyniesie 10,44 r-g, tj. 626,4 min. Przyjmując zespół 12-osobowy, średni czas montażu trzymetrowego segmentu to ok. 52 min.

Podstawowym zastosowaniem konstrukcji składanych są cele militarne. W operacjach wojskowych mają one zapewnić mobilność pododdziałom logistycznym w tylnej strefie działań (tzw. mosty logistyczne – fotografia 1). W czasie pokoju mogą znaleźć wiele innych zastosowań. Mosty składane wznoszone są np. na czas remontów stałych obiektów mostowych, jak mosty objazdowe m.in. pod Wizną (fotografia 1b), w Kaliszu [4] czy w Ostrołęce [5]. Stanowią też szybkie rozwiązanie w odtwarzaniu zniszczonej, na skutek klęsk żywiołowych, infrastruktury transportowej (most tymczasowy w Szeligach [4], tymczasowe mosty składane po powodzi w południowo-zachodniej Polsce w 2024 r., pomoc w odbudowie mostów w Słowenii po powodzi w 2023 r. [6]). Inne nietypowe zastosowanie tego typu konstrukcji to: budowa tymczasowych mostów składanych zapewniających dojazd na Światowe Dni Młodzieży pod Krakowem w 2016 r. oraz most pomiędzy wyspami w Namysławie na rzece Widawie, niezbędny do przeprowadzenia rewitalizacji wyspy (2023 r.).

Badania ankietowe opinii ekspertów

Cel, zakres i procedura badań. Przeprowadzono badania ankietowe w grupie wybranych ekspertów wojskowych na temat budowy mostów składanych. Pytania dotyczyły:

- oceny zaproponowanego składu zespołu montażowego (tabela 1) oraz zakresu jego prac i wyposażenia (jedno pytanie);
- identyfikacji i oceny wpływu czynników realizacyjnych determinujących ogólny czas budowy konstrukcji przeszłowej mostu składanego DMS-65 (jedno pytanie);
- oceny wpływu doświadczenia zespołu montażowego i operatora urządzenia dźwigowego na czas budowy konstrukcji przeszłowej mostu składanego DMS-65 (jedno pytanie);

Table 1. Composition of the assembly team and scope of work of team members

Tabela 1. Skład zespołu montażowego i zakres prac członków zespołu

Number of personnel/ Liczba osób	Position/Stanowisko	Scope of tasks/Zakres prac
1	team leader/kierujący zespołem	planning, organisation, task assignment, supervision/planowanie, organizacja, stawianie zadań, kontrola
1	lifting equipment operator/ operator urządzenia dźwigowego	operation of lifting equipment, handling of components/obsługa urządzenia dźwigowego, podawanie elementów
1	backhoe loader operator/ operator koparko-ladowarki	operation of the machine, handling and positioning of components/obsługa maszyny, podawanie elementów
2	assembler/monter	connection of girder elements (left girder): spatial trusses, plane trusses, crossbeams; placement of deck plates; installation of kerbs/łączenie elementów dźwigara (lewego) – kratownice przestrzenne, kratownice płaskie, belki poprzeczne, układanie płyt jezdni, montaż krawężników
2	assembler/monter	connection of girder elements (right girder): spatial trusses, plane trusses, crossbeams; placement of deck plates; installation of kerbs/łączenie elementów dźwigara (prawego) – kratownice przestrzenne, kratownice płaskie, belki poprzeczne, układanie płyt jezdni, montaż krawężników
2	assembler/monter	installation of remaining elements: wind bracing, pins/montaż pozostałych elementów – wiatrownice, zawleczeni

- identification of location-related factors influencing the construction time of modular bridge structures (1 question);
- assessment of the influence of terrain configuration in the assembly area on the time required to prepare the assembly yard (1 question), as well as on the construction time of the launching nose and the bridge span structure (2 questions).

The general procedure for organising and conducting the questionnaire survey included:

- defining the objectives of the study;
- selecting the target group of experts;
- developing the expert interview questionnaire;
- distributing the questionnaires to the experts and collecting their responses;
- analysing the experts' responses to individual questions;
- synthesising the observations and formulating conclusions based on the experts' responses.

Main Assumptions. The questionnaire survey was conducted in the first half of 2024 and involved a group of 22 engineering troops experts on active duty, representing various military units, who possessed experience and knowledge in the construction of modular bridges. The study employed specially developed expert interview questionnaires containing seven questions related to the analysed issues. The experts provided their responses based on their own professional experience [8, 9]. The service positions held by the experts at the time of the survey can be classified into three groups: headquarters, managerial, and executive. Experts in headquarters positions were individuals with many years of experience in command posts within bridge engineering subunits, and currently employed as members of advisory and consultancy teams. Executive personnel consisted of non-commissioned officers and enlisted soldiers serving as bridge assemblers or operators of engineering machinery. Experts holding managerial positions were non-commissioned officers (team leaders) and officers (platoon, company, and battalion commanders) commanding engineering subunits. The percentage distribution of survey participants across the respective position groups was as follows: headquarters positions – 18.2%, managerial positions – 63.6%, and executive positions – 18.2%. The largest group comprised managers (14 individuals), while advisory and executive positions were each

- identyfikacji czynników lokalizacyjnych wpływających na czas budowy konstrukcji mostów składanych (jedno pytanie);

- oceny wpływu ukształtowania terenu w rejonie montażu na czas przygotowania placu montażowego (jedno pytanie) oraz na czas budowy awanboku i konstrukcji przęsła mostu składanego (dwa pytania).

Ogólna procedura organizacji i przeprowadzenia badań ankietowych obejmowała:

- zdefiniowanie celów badania;
- wybór docelowej grupy ekspertów;
- opracowanie arkusza wywiadu eksperckiego;
- przekazanie arkuszy ekspertom i zebranie odpowiedzi;
- analizę odpowiedzi ekspertów w poszczególnych pytaniach;
- syntezę obserwacji i sformułowanie wniosków na podstawie odpowiedzi ekspertów.

Główne założenia. Badania ankietowe przeprowadzono w I półroczu 2024 r., wśród dwudziestu dwóch ekspertów wojsk inżynieryjnych, będących w służbie czynnej, z różnych jednostek wojskowych, mających doświadczenie i wiedzę dotyczącą budowy mostów składanych. W badaniach wykorzystano opracowane arkusze wywiadu eksperckiego, zawierające 7 pytań dotyczących analizowanych zagadnień. Ekspertci udzielali odpowiedzi na pytania, wykorzystując własne doświadczenie zawodowe [8, 9]. Stanowiska służbowe zajmowane przez ekspertów, na dzień badania, można podzielić na trzy grupy: sztabowe, kierownicze oraz wykonawcze. Specjaliści zajmujący stanowiska sztabowe to osoby posiadające wieloletnią praktykę na etatach dowódczych w pododdziałach mostowych, a obecnie zatrudnione jako członkowie zespołów doradczo-konsultacyjnych. Wykonawcy robót to podoficerowie i szeregowi zajmujący stanowiska monterów mostowych bądź operatorów maszyn inżynieryjnych. Ekspertci zajmujący stanowiska kierownicze to podoficerowie (dowódcy drużyn) i oficerowie (dowódcy plutonów, kompanii, batalionów) dowodzący pododdziałami inżynieryjnymi. Udział procentowy uczestników badania w poszczególnych grupach: stanowiska sztabowe – 18,2%; stanowiska kierownicze – 63,6% i stanowiska wykonawcze

represented by four respondents. The structure of the experts participating in the survey with respect to professional experience was as follows: nearly 32% of the interviewed specialists had more than 20 years of professional experience, 27.3% had experience in the range of 11–20 years, 18.2% were experts with 4–10 years of experience, and 22.7% of the specialists had 0–3 years of professional experience.

Analysis of the assembly team composition and the scope of its tasks

In order to systematically examine the organisation and course of the assembly and positioning process of modular bridge spans, treated as a complex process, and to carry out a preliminary identification of execution-related factors having a significant influence on the overall duration of the process (Section 5), elementary work processes were specified and their typical sequence of execution was defined. According to the adopted assumptions, the analysed complex process consists of four groups (A, B, C, and D) [10, 11], in total, 19 elementary work processes were classified. A summary of the groups and work processes is presented in Table 2, while their execution sequence is illustrated by the diagram shown in Figure 2.

It should be emphasised that the adopted scope and sequence of execution of the work processes comply with **requirements**:

- a) **formal and legal** resulting from the provisions of the Construction Law Act [12];
- b) **instructional** related to the construction of DMS-65 modular bridge spans [3];

– 18,2%. Największą grupę stanowili kierownicy (14 osób), natomiast po czterech respondentów zajmuje stanowiska sztabowe oraz wykonawców robót. Struktura ekspertów uczestniczących w badaniu w zależności od stażu pracy: ok. 32% specjalistów posiada doświadczenie powyżej 20 lat, 27,3% to osoby ze stażem pracy w przedziale 11 – 20 lat, 18,2% stanowią eksperci z doświadczeniem 4 – 10 lat oraz 22,7% – osoby ze stażem 0 – 3 lat.

Analiza składu zespołu montażowego i zakresu jego prac

W celu systematycznego prześledzenia organizacji i przebiegu procesu montażu, ustawienia przęsła mostu składanego oraz dokonania wstępnej identyfikacji czynników realizacyjnych mających istotny wpływ na ogólny czas wykonania prac, wyspecyfikowano proste procesy robocze oraz określono kolejność ich wykonywania. Na analizowany proces złożony składają się cztery grupy A, B, C i D [10, 11], wśród których jest 19 prostych procesów roboczych. Zestawienie grup i procesów roboczych przedstawiono w tabeli 2, natomiast kolejność ich wykonywania na rysunku 2.

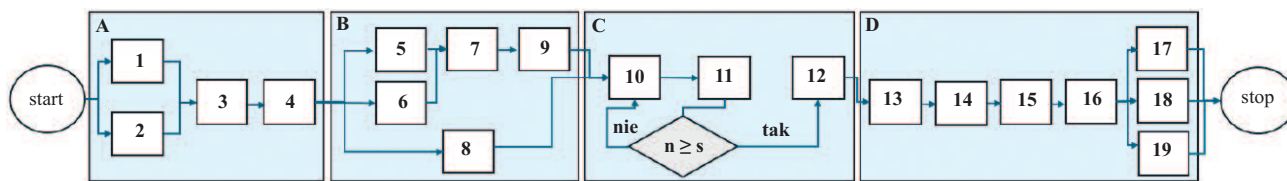
Podkreślić należy, że przyjęty zakres i tok realizacji procesów roboczych spełnia **wymagania**:

- a) **formalnoprawne** – wynikające z postanowień ustawy Prawo budowlane [12];
- b) **instrukcyjne** budowy przęsła mostu składanego DMS-65 [3];

Table 2. Work processes during the construction of the span section of modular bridges

Tabela 2. Procesy robocze podczas budowy części przęsłowej mostów składanych

Group/ Grupa	No. work processes/ Nr procesu roboczego	Work processes/Charakterystyka procesu roboczego
A	1	external transport of structural components/zewnętrzny transport elementów
	2	organisation of the storage yard/organizacja placu składowego
	3	slinging and unloading of components from transport vehicle/podczepienie i rozładunek elementów z środków transportowych
	4	placement of components in the storage yard/układanie elementów na placu składowym
B	5	sorting, arrangement, and maintenance of assembly components and connectors/segregacja, układanie i konserwacja elementów montażowych i łączników
	6	preparation of the area designated for structural assembly/przygotowanie rejonu prowadzenia montażu konstrukcji
	7	construction of the assembly track for the span structure/wykonanie toru montażowego konstrukcji przęsłowej
	8	installation of elements facilitating launching and braking of the span structure/wykonanie elementów wspomagających nasuwanie i hamowanie konstrukcji przęsłowej
C	9	assembly of launching nose components/montaż elementów dzioba montażowego
	10	assembly of the main elements of the span structure (without sidewalks)/montaż zasadniczych elementów konstrukcji przęsłowej (bez chodników)
	11	partial launching of the assembled span structure/częściowe nasuwanie zmontowanej konstrukcji przęsłowej
D	12	installation of deck plates and kerbs/montaż płyt jezdni i krawężników
	13	installation of sidewalk panels, railing posts, and cable handrails/montaż płyt chodnika, słupków poręczowych i poręczy linowych
	14	final launching of the span structure/końcowe nasunięcie konstrukcji przęsła
	15	dismantling of the launching nose/demontaż dzioba montażowego
	16	positioning of the span structure on bearing supports/ustawienie konstrukcji przęsłowej na łożyskach podpór
	17	connection of the bridge to the approaches (transition slabs)/połączenie mostu z brzegami (płyty przejściowe)
	18	installation of bridge lighting/montaż oświetlenia mostu
19	installation and execution of bridge signage/montaż i wykonanie oznakowania mostu	



* where: n – number of assembled 3 m sections; s – number of 3 m sections required for assembly/gdzie: n – liczba zmontowanych odcinków 3 m; s – liczba wymaganych do zmontowania odcinków 3 m

Fig. 2. The sequence of processes involved in the construction of the span section of modular bridges

Rys. 2. Kolejność procesów budowy części przęsłowej mostów składanych

c) **organisational, technical, and operational** arising from general technical knowledge and the authors’ own experience in the execution of this type of bridge structures.

As part of the expert interview, proposed the composition of the assembly team together with the scope of tasks assigned to individual team members (Table 1). The survey respondents were asked to comment on the proposed team composition and the scope of tasks. In 40% of the responses, a suggestion was made to include a hook in the assembly team, whose primary responsibility would be attaching structural elements to the lifting device rigging. Comments regarding changes in the scope of tasks were expressed in 17% of the responses and mainly concerned extending the range of duties assigned to individual assemblers. A small proportion of comments (10%) related to changes in the equipment used for assembly, with a forklift proposed instead of a backhoe loader (the UMI 9.50 universal machine). Attention was also drawn to the need to equip the assembly team with equipment for launching the span structure. However, experts in the surveys did not specify what kind of equipment this would be. Several respondents (13%), in the context of the number of assemblers and operators, suggested increasing the number of assemblers or introducing team rotation due to a decrease in productivity over work time. The necessity of using the UMI 9.50 machine was also questioned, with its application made dependent on access conditions and the availability of the construction site. The percentage distribution of comments across the individual issues is presented in Figure 3.

c) **organizacyjno-techniczne i eksploatacyjne** wynikające z ogólnej wiedzy technicznej i doświadczeń własnych w realizacji tego typu obiektów mostowych.

W ankiecie zaproponowano skład zespołu montażowego wraz z zakresem prac poszczególnych jego członków (tabela 1) i poproszono ich o ocenę. W 40% wypowiedzi pojawiła się sugestia, aby do składu zespołu dodać hakowego, którego zakres czynności polegałby głównie na podczepianiu elementów konstrukcyjnych do zawiesi urządzenia. Uwaga dotycząca zmiany zakresu czynności została zasygnalizowana w 17% odpowiedzi i odnosiła się głównie do rozszerzenia zakresu czynności poszczególnych monterów. Niewielka część uwag (10%) dotyczyła wprowadzenia zmian w wyposażeniu wykorzystywanym do montażu – zaproponowano wózek widłowy zamiast koparko-ladowarki (maszyny uniwersalnej UMI 9.50). Zwrócono również uwagę na potrzebę uwzględnienia wyposażenia zespołu w sprzęt do nasuwania konstrukcji przęsłowej. Eksperti nie sprecyzowali w ankietach, jaki miałyby to być sprzęt. Kilku respondentów (13%) zaproponowało zwiększenie liczby monterów lub konieczność rotacji zespołów, ze względu na spadek ich wydajności z upływem czasu pracy. Podano w wątpliwość kwestię wymagalności UMI 9.50, uzależniając wykorzystanie tej maszyny od warunków dojazdowych i dostępności terenu budowy. Procentowy rozkład uwag w poszczególnych kwestiach przedstawiono na rysunku 3.

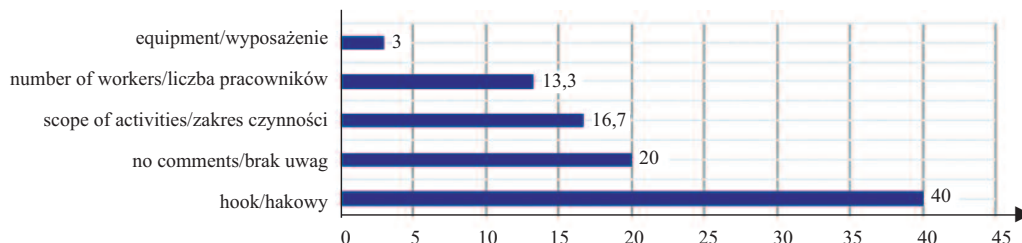


Fig. 3. Percentage share of instructions concerning changes in the presented composition and scope of activities of the assembly team

Rys. 3. Procentowy udział wskázówek dotyczących zmian w przedstawionym składzie i zakresie czynności zespołu montażowego

Factors influencing the construction time of modular bridges

Own position and the position of a group of military experts, regarding the identification of the key factors determining the assembly time of modular bridge span structures are presented. Both positions were then subjected to a comparative analysis, which resulted in the establishment and validation of a final list of key execution-related factors influencing the construction time of modular bridge span structures.

Czynniki wpływające na czas budowy mostów składanych

Przedstawiono stanowisko własne oraz stanowisko grupy ekspertów wojskowych, dotyczące identyfikacji zasadniczych czynników determinujących czas montażu *kpm*s. Oba stanowiska poddano analizie porównawczej, w wyniku której określono i uwiarygodniono wynikową listę kluczowych czynników realizacyjnych warunkujących czas budowy *kpm*s.

Execution-related factors identified on the basis of the own experience. Execution-related factors influencing the assembly rate of modular bridges were identified based on many years of experience in the construction of such structures – practical experience in managing bridge construction works both in restricted areas [12] and under diverse terrain conditions following crisis situations, such as floods, as well as during the execution of specialised military services [13].

The implementation of modular bridge construction projects under varied location conditions, leads to the conclusion that the most extensive and at the same time highly significant group of factors affecting the assembly time of modular bridge span structures is the group of location-related factors. Furthermore, the execution of construction works invariably requires the involvement of personnel with appropriate qualifications, which justifies recognising personal factors – such as the experience of the construction manager, the assembly team, and the lifting equipment operator – as being equally important as location-related factors. At the same time, additional factors determining the construction time of modular bridge span structures were identified, the significance of which is often assessed individually depending on the specific operational conditions and circumstances.

Based on the adopted scope and sequence of work processes, the factors influencing the assembly time of modular bridge span structures were identified and grouped into five categories, as follows [14, 15]:

■ **I – personal factors:**

- 1) experience of construction managers,
- 2) experience of the assembly team,
- 3) experience of the crane or lifting equipment operator;

■ **II – location-related factors:**

- 4) terrain configuration in the bridge assembly area,
- 5) convenient access to and exit from the construction site,
- 6) spatial constraints in the assembly area,
- 7) possibility of arranging temporary storage areas,
- 8) ground and groundwater conditions,
- 9) terrain masking characteristics,
- 10) vegetation cover in the bridge construction area;

■ **III – technical disruption factors:**

- 11) condition of maintenance of the span structure elements,
- 12) operational reliability of assembly equipment;

■ **IV – logistical disruption factors:**

- 13) availability of modern assembly equipment,
- 14) timeliness of collection and delivery of structural elements;

■ **V – other factors:**

- 15) total length of the span structure,
- 16) work motivation,
- 17) weather conditions,
- 18) proper preparation of the assembly yard.

Execution-related factors identified on the basis of the expert interview. A parallel set of execution-related factors influencing the construction time of modular bridge spans was developed based on an expert opinion survey. The expert interview questionnaire proposed an initial set of seven execution-related factors (two of them, i.e. location-related factors and logistical disruption factors, were classified in

Czynniki realizacyjne określone na podstawie doświadczenia własnego. Przeprowadzono identyfikację czynników realizacyjnych, wpływających na tempo montażu *kpms*, na podstawie własnego wieloletniego doświadczenia w budowie takich konstrukcji zdobytego podczas kierowania mostowymi robotami budowlanymi zarówno na terenach zamkniętych [12], jak i w odmiennych uwarunkowaniach terenowych po zaistnieniu sytuacji kryzysowych, takich jak powódzie, czy podczas wykonywania tzw. specjalistycznych usług wojskowych [13].

Realizacja budów *ms* w zróżnicowanych warunkach lokalizacyjnych skłania do stwierdzenia, że najbardziej rozbudowaną i jednocześnie bardzo istotną grupą czynników wpływających na czas montażu *kpms* są czynniki lokalizacyjne. Ponadto, prowadzenie robót budowlanych wymaga każdorazowo zaangażowania pracowników o odpowiednich kwalifikacjach. Uzasadnia to uznanie czynników osobowych, takich jak doświadczenie kierującego robotami, zespołu montażowego i operatora urządzenia dźwigowego, za równie istotne jak lokalizacyjne. Zidentyfikowano kolejne czynniki warunkujące czas budowy *kpms*, których istotność bardzo często jest określana indywidualnie w zależności od specyfiki działania i konkretnej sytuacji.

Bazując na przyjętym zakresie i kolejności realizacji procesów roboczych, określono czynniki mające wpływ na czas montażu *kpms*, zestawiając je w pięć grup [14, 15]:

■ **I – czynniki osobowe:**

- 1) doświadczenie kierujących robotami;
- 2) doświadczenie zespołu montażowego;
- 3) doświadczenie operatora żurawia/urządzenia dźwigowego;

■ **II – czynniki lokalizacyjne:**

- 4) ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji;
- 5) dogodny dojazd i wyjazd z budowy;
- 6) ograniczenia przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji;
- 7) możliwość urządzenia tymczasowych placów składowych;

■ **III – czynniki techniczne:**

- 8) warunki gruntowo-wodne;
- 9) walory maskujące terenu;
- 10) posycie roślinnością rejonu budowy mostu;

■ **III – zakłócenia techniczne:**

- 11) stan utrzymania elementów konstrukcji przęsłowej;
- 12) sprawność sprzętu montażowego;

■ **IV – zakłócenia logistyczne:**

- 13) dostępność nowoczesnego sprzętu montażowego;
- 14) terminowość odbioru i dostawy elementów konstrukcji;

■ **V – pozostałe czynniki:**

- 15) całkowita długość konstrukcji przęsłowej;
- 16) motywacja do pracy;
- 17) warunki atmosferyczne;
- 18) poprawne przygotowanie placu montażowego.

Czynniki realizacyjne określone na podstawie wywiadu eksperckiego. Równolegle określono czynniki realizacyjne wpływające na czas budowy przęsł mostów składanych na podstawie opinii ekspertów. Zaproponowano po-

further analysis as groups of factors, hence they were divided into multiple component factors). The respondents were given the opportunity to comment on the listed factors as well as to propose additional factors beyond the initial set. Figure 4 presents the percentage shares of votes assigned to individual factors together with the relative significance of each factor as determined by the experts. Relative significance was assessed in the interview using a scale from 0 to 3. A value of 3 was assigned to the most significant factors, whereas a value of 1 denoted the least significant factors. A value of 0 was assigned to factors considered insignificant, while a value of 2 was used in cases of a moderate influence on the construction time of modular bridge span structures. The calculated relative significance of a factor w_x is a percentage value calculated by dividing of the sum of significance scores (0 – 3) assigned to a given factor x by all experts by the total points assigned to all factors.

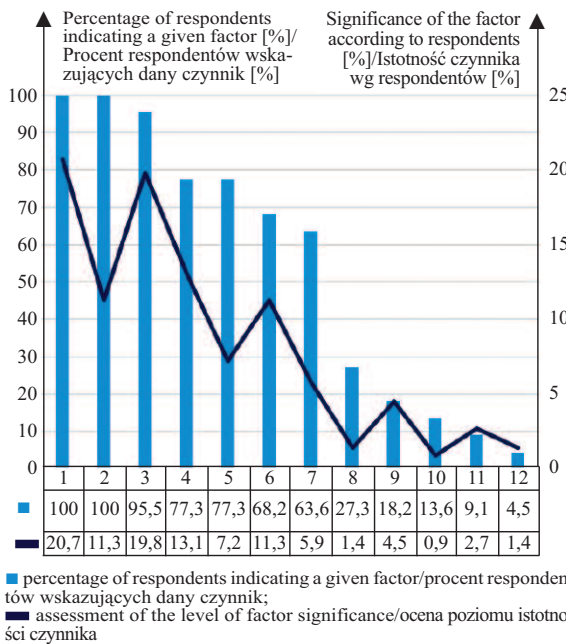


Fig. 4. Percentage of votes cast for a factor, together with the specified relative significance of the factor

Rys. 4. Procent oddanych głosów na czynnik wraz z określoną istotnością względną czynnika

czątkowy zestaw siedmiu czynników realizacyjnych (dwa z nich, tj. warunki lokalizacyjne i zakłócenia logistyczne, sklasyfikowano w analizie jako grupy czynników, stąd uległy rozbiciu na mnogie czynniki składowe). Respondenci odnosili się do wymienionych czynników, sugerowali czynniki własne spoza zestawu i określali ich istotność. Na rysunku 4 zaprezentowano udział procentowy głosów oddanych na poszczególne czynniki wraz z istotnością względną czynnika, która została określona w ankiecie w skali 0 ÷ 3, przy czym 3 oznacza najistotniejsze czynniki, natomiast 1 najmniej istotne. Wartość 0 przypisano czynnikom nieistotnym, a 2 o umiarkowym wpływie na czas wykonania kpm s. Istotność względną czynnika

w_x to wielkość procentowa obliczona z ilorazu sumy punktów (0 – 3), przyznanych danemu czynnikowi x przez wszystkich ekspertów do sumy punktów przyznanych wszystkim ocenianym czynnikom.

$$w_x = \frac{\sum_i w_{x,i}}{\sum_x \sum_i w_{x,i}} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$w_x = \frac{\sum_i w_{x,i}}{\sum_x \sum_i w_{x,i}} \cdot 100\% \quad (1)$$

where:

w_x – relative significance of the influence of factor x assessed by all experts;
 $w_{x,i}$ – the number of points awarded to a given factor x by the i -th expert, where $w_{x,i} \in \{0, 1, 2, 3\}$;
 x – index identifying a specific factor, where $x \in N: 1 \leq x \leq 12$;
 i – index identifying a specific expert, where $i \in N: 1 \leq i \leq 22$.

The experts indicated, with a high level of consistency, that the following **execution-related factors** (Figure 4) have an influence on the assembly time of the modular bridge span structure:

- 1) experience of the assembly team (100%),
 - 2) location-related factors (100%),
 - 3) experience of the lifting equipment operator (95.5%),
 - 4) experience of construction managers (77.3%),
 - 5) work motivation (77.3%),
 - 6) logistical disruptions (68.2%),
 - 7) weather conditions (63.6%).
- Other identified factors included:
- 8) total length of the span structure (27.3%),
 - 9) operational reliability of assembly equipment (18.2%),
 - 10) condition of maintenance of the span structure elements (13.6%),
 - 11) proper preparation of the assembly yard (9.1%),
 - 12) tactical security of the assembly works (4.5%).

As a result of the analysis of the responses provided in the questionnaires, the factors considered most significant by the respondents were:

gdzie:

w_x – istotność względną czynnika x oceniona przez wszystkich ekspertów;
 $w_{x,i}$ – liczba punktów przyznana danemu czynnikowi x przez i -tego eksperta, gdzie $w_{x,i} \in \{0, 1, 2, 3\}$;
 x – indeks wskazujący konkretny czynnik, gdzie $x \in N: 1 \leq x \leq 12$;
 i – indeks wskazujący konkretnego eksperta, gdzie $i \in N: 1 \leq i \leq 22$.

Z dużą powtarzalnością eksperci wskazywali wpływ następujących **czynników realizacyjnych** (rysunek 4) na czas montażu konstrukcji przęsłowej ms :

- 1) doświadczenie zespołu montażowego (100%);
 - 2) czynniki lokalizacyjne (100%);
 - 3) doświadczenie operatora urządzenia dźwigowego (95,5%);
 - 4) doświadczenie kierujących robotami (77,3%);
 - 5) motywacja do pracy (77,3%);
 - 6) zakłócenia logistyczne (68,2%);
 - 7) warunki atmosferyczne (63,6%).
- Inne z wymienionych czynników to:
- 8) całkowita długość konstrukcji przęsłowej (27,3%);
 - 9) sprawność sprzętu montażowego (18,2%);
 - 10) stan utrzymania elementów konstrukcji przęsłowej (13,6%);
 - 11) poprawne przygotowanie placu montażowego (9,1%);
 - 12) zabezpieczenie taktyczne prowadzenia robót montażowych (4,5%).

Z analizy odpowiedzi udzielonych w ankietach wynika, że najistotniejszymi czynnikami dla respondentów są:

1) the experience of the assembly team (significance assessed at 20.7%);

2) the experience of the lifting equipment operator (19.8%);

3) the experience of construction managers (13.1%);

4) location-related factors and logistical disruptions (11.3% each).

The remaining factors were assessed as having low significance, below 10%.

In the subsequent part of the expert interview, the focus was placed on the group of personal factors. The experts were asked to estimate, in percentage terms, the extent of reduction or increase in the assembly time of a 3 m segment of the DMS-65 modular bridge using the primary method under three separate scenarios:

a) replacement of an average assembly team with a team of experienced assemblers,

b) replacement of an average assembly team with a team of inexperienced assemblers,

c) replacement of an average lifting equipment operator with an experienced operator.

The experts' responses in this respect were diversified. In case, involving a team of experienced assemblers, the respondents assessed that the assembly time of the span structure segment would be reduced from 10% (one response) to as much as 50% (four responses) – Figure 5. The largest group of experts (six respondents) indicated that, in the analysed scenario, the assembly time would be reduced by 25%. Four respondents indicated a reduction of 30%. Two specialists each assessed a reduction in working time of 20% and 40%, respectively. Single respondents indicated reductions of 15%, 35%, and 45%. The average reduction in assembly time estimated by the experts would be approximately 31%.

In case, involving a team of inexperienced assemblers, the experts provided varied responses. The increase in the assembly time of the span structure segment was assessed to range from 10 to 50% (Figure 6). The largest number of respondents

1) doświadczenie zespołu montażowego (istotność określono na 20,7%);

2) doświadczenie operatora urządzenia dźwigowego (19,8%);

3) doświadczenie kierujących robotami (13,1%);

4) czynniki lokalizacyjne i zakłócenia logistyczne (po 11,3%).

Pozostałe czynniki zostały ocenione z istotnością mniejszą niż 10%.

W kolejnej części wywiadu eksperckiego skupiono się na grupie czynników osobowych. Ekspertów poproszono o procentowe oszacowanie skrócenia bądź wydłużenia czasu montażu sposobem zasadniczym 3-metrowego segmentu mostu składanego (DMS-65), w trzech oddzielnych sytuacjach:

a) zastąpienie przeciętnego zespołu monterów zespołem doświadczonych monterów;

b) zastąpienie przeciętnego zespołu monterów zespołem niedoświadczonych monterów;

c) zastąpienie przeciętnego operatora urządzenia dźwigowego operatorem doświadczonym.

Odpowiedzi ekspertów były zróżnicowane. W przypadku zespołu monterów doświadczonych, respondenci ocenili, że czas montażu segmentu konstrukcji przęsłowej skróci się od 10% (1 głos) do nawet 50% (4 głosy) – rysunek 5. Najwięcej ekspertów (sześciu) wskazało, że w rozpatrywanym wariancie czas montażu skróci się o 25%, czterech, że o 30%, a po dwóch, że o 20 i 40%. Pojedynczy respondenci wskazali natomiast 15, 35 i 45%. Średnie skrócenie czasu wg ekspertów wyniosłoby ok. 31%.

W przypadku zespołu monterów niedoświadczonych – eksperci udzielili zróżnicowanych odpowiedzi. Wydłużenie czasu montażu segmentu oceniono na 10 – 50% (rysunek 6). Najwięcej respondentów (5 osób) oddało głos na wydłużenie czasu o 25%, następnie *ex aequo* 20 i 50% (po 4 głosy). Trzech respon-

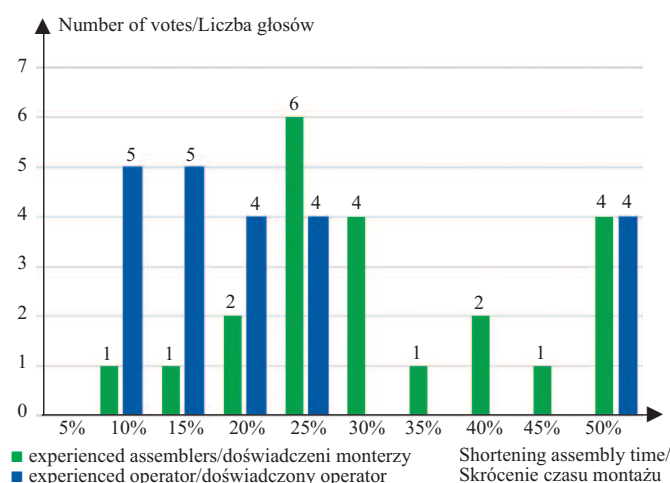


Fig. 5. Number of votes cast for the percentage reduction in assembly time for modular bridge segments with an experienced crane operator or an experienced assembly team

Rys. 5. Liczba głosów oddanych na procentowe skrócenie czasu montażu segmentu ms przy doświadczonym operatorze żurawia lub doświadczonym zespole montażowym

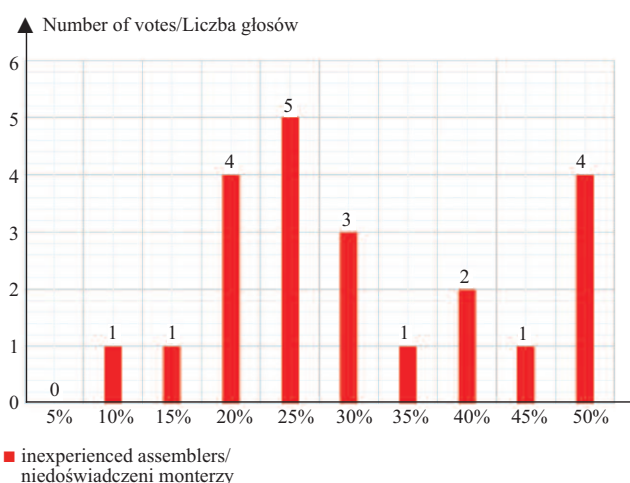


Fig. 6. Number of votes cast for a percentage increase in the assembly time of modular bridge segments with an inexperienced assembly team

Rys. 6. Liczba głosów oddanych na procentowe wydłużenie czasu montażu segmentu ms przy niedoświadczonym zespole montażowym

(five individuals) indicated an increase of 25%, followed *ex aequo* by 20 and 50% (four responses each). Three respondents assessed an increase of 30%, two indicated 40%, and single responses were given for 10, 15, 35, and 45%. The average of the responses indicated an approximately 32% increase in the execution time of the modular bridge span structure.

In case, involving an experienced lifting equipment operator, the respondents assessed that the assembly time of the span structure segment would be reduced within the range of 10–25% (18 responses) or even by as much as 50% (4 responses). Five specialists each indicated a reduction in assembly time of 10 and 15% (Figure 5). Four respondents each estimated a reduction of 20 and 25%. The average reduction in the assembly time of a 3 m segment with an experienced crane operator, as assessed by the experts, would be approximately 23%.

In the subsequent part of the expert interview, the focus was placed on the group of location-related factors. The experts were asked to indicate the factors they considered to be the most significant. The following **location-related factors** were identified in the interview:

- 1) terrain configuration in the structure assembly area,
- 2) spatial constraints in the assembly area,
- 3) convenient access to and exit from the construction site,
- 4) ground and groundwater conditions,
- 5) vegetation cover in the bridge construction area,
- 6) terrain masking characteristics.

The percentage indication of individual factors by the respondents is illustrated in Figure 7. The largest proportion of respondents, exceeding 95%, identified terrain configuration in the structure assembly area as a significant factor (category 1 in Figure 7). Terrain unevenness and slope directly affect the amount of earthworks required to be carried out.

Slightly more than 90% of the experts identified the presence of spatial constraints in the structure assembly area as an important factor (category 2). When assembling modular bridge span structures using the primary method, this parameter is particularly significant, as it affects site accessibility, which in turn is related to the possibility of positioning the lifting equipment, preparing the assembly yard and storage areas for structural elements, as well as the optional use of additional equipment and its manoeuvrability.

The third most frequently indicated factor (72.7%) was convenient access to and exit from the construction site (category 3). The ability to provide access for engineering equipment as well as to transport the bridge structure itself is essential for commencing and carrying out construction works. In contrast, the construction or strengthening of access roads constitutes activities that are particularly time-consuming. A significant proportion of experts, i.e. 68.2%, identified ground and groundwater conditions as an important factor (category 4). The issues most frequently indicated included the bearing capacity of the soil and the necessity to reinforce abutments (requiring additional

dentów oceniło wydłużenie czasu o 30%, dwie osoby postawiły na odpowiedź 40% i pojedyncze odpowiedzi, to 10, 15, 35 i 45%. Średnie wydłużenie czasu wykonania *kpm*s oszacowano na ok. 32%.

W sytuacji zastąpienia przeciętnego operatora urządzenia dźwigowego operatorem doświadczonym, respondenci ocenili, że czas montażu segmentu konstrukcji przeszłowej skróci się o 10–25% (18 głosów) lub nawet o 50% (4 głosy). Po pięciu specjalistów wskazało skrócenie czasu montażu segmentu o 10 i o 15% (rysunek 5), a po czterech na 20 lub 25%. Średnie skrócenie czasu montażu segmentu przy doświadczonym operatorze żurawia wynosiło by 23%.

W dalszej części wywiadu eksperckiego skupiono się na grupie czynników lokalizacyjnych. Poproszono ekspertów o wskazanie ich zdaniem najistotniejszych czynników. W wywiadzie wskazano na następujące **czynniki lokalizacyjne**:

- 1) ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji;
- 2) ograniczenia przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji;
- 3) dogodny dojazd i wyjazd z budowy;
- 4) warunki gruntowo-wodne;
- 5) posycie roślinnością rejonu budowy mostu;
- 6) walory maskujące terenu.

Procentowe wskazanie poszczególnych czynników przez respondentów pokazano na rysunku 7. Najwięcej respondentów, bo aż ponad 95%, wskazało jako istotny czynnik ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji (kategoria 1 na rysunku 7). Nierówności i pochylenie terenu wpływają bezpośrednio na ilość koniecznych do wykonania robót ziemnych.

Nieco ponad 90% ekspertów wskazało jako ważny czynnik występowanie ograniczeń przestrzennych w rejonie montażu konstrukcji (kategoria 2). Przy montażu *kpm*s sposobem zasadniczym jest to niezwykle istotny parametr, który wiąże się z możliwością ustawienia urządzenia dźwigowego, przygotowania placu montażowego, placów składowania elementów konstrukcji oraz opcjonalnym użyciem innego sprzętu i jego manewrowością.

Trzecim często wymienianym czynnikiem (72,7%) był dogodny dojazd i wyjazd z budowy (kategoria 3). Możliwość dojazdu sprzętu inżynierskiego oraz dowóz samej konstrukcji mostu są niezbędne do rozpoczęcia i prowadzenia prac budowlanych. Natomiast wykonanie lub wzmocnienie dróg dojazdowych jest niezwykle czasochłonne, 68,2% ekspertów wskazało jako ważne warunki gruntowo-wodne (kategoria 4). Szczegółowo wymieniano: nośność podłoża gruntowego i konieczność wzmocnienia przyczółków (wykonania dodatkowych prac ziemnych); możliwość adaptacji brzegów na przyczółki oraz parametry przeszkody wodnej.

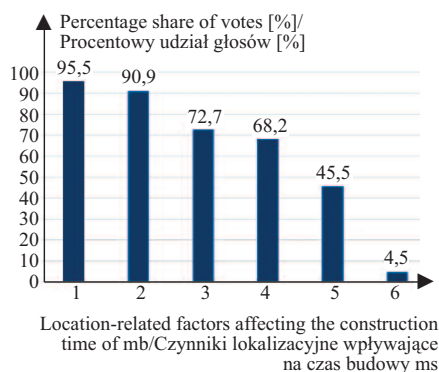


Fig. 7. Percentage share of votes for categories of location factors affecting the construction time of modular bridges

Rys. 7. Procentowy udział głosów na kategorie czynników lokalizacyjnych, mających wpływ na czas budowy *kpm*s

earthworks), the possibility of adapting riverbanks for abutments, and the parameters of the water obstacle.

Nearly half of the respondents (45.5%) pointed to vegetation present along the banks of the water obstacle as an important factor (category 5). Various types of flora, including forestation and shrub cover, may hinder equipment manoeuvrability, in particular causing difficulties in positioning lifting equipment or preparing the required working areas. One expert (4.5%) indicated terrain masking characteristics (category 6) as a factor influencing the construction time of modular bridge span structures.

The final part of the expert interview consisted of three questions concerning the influence of terrain configuration in the construction area (terrain unevenness as well as longitudinal and transverse slopes) on the time required to prepare: (a) the assembly yard, (b) the launching nose, and (c) the span structure of the modular bridge (Figure 8). All respondents answered affirmatively that this factor has a significant influence on (a) the time required to prepare the assembly yard (22 “yes” responses). With regard to the influence of terrain configuration on (b) the assembly time of the launching nose, opinions were divided, with a ratio of 9:12 in favour of the negative response. One respondent provided a different answer without justification (12 “no”, 9 “yes”, 1 “other”). In contrast, regarding the influence of terrain configuration on (c) the assembly time of the span structure, 7 respondents provided affirmative answers, 13 gave negative answers, and two selected other responses, indicating that terrain configuration affects the possibilities for storing structural elements along the bridge axis and thus indirectly influences the assembly rate through element availability and potential difficulties in horizontal transportation.

Prawie połowa respondentów (45,5%) zwróciła uwagę na roślinność występującą na brzegach przeszkody wodnej (kategoria 5). Różnego rodzaju flora, zalesienie i zakrzewienie, może powodować utrudnienia w manewrowaniu sprzętem, a przede wszystkim problemy z rozstawieniem urządzenia dźwigowego, czy też przygotowaniem niezbędnych placów. Jeden z ekspertów (4,5 %) jako czynnik wpływający na czas budowy *kpm*s wskazał walory maskujące terenu (kategoria 6).

Ostatnia część ankiety składała się z trzech pytań dotyczących wpływu ukształtowania terenu w rejonie budowy (nierówności terenowych, pochylenia podłużnego i poprzecznego terenu) na czas przygotowania: a) placu montażowego; b) dzioba montażowego oraz c) części przęsłowej *ms* (rysunek 8). Wszyscy respondenci odpowiedzieli twierdząco, że ten czynnik istotnie wpływa na czas przygotowania placu montażowego (22 – tak). Przy określeniu wpływu czynnika ukształtowania terenu na czas montażu dzioba montażowego zdania były podzielone w stosunku 9: 12 na korzyść odpowiedzi przeczącej. Jeden respondent udzielił innej odpowiedzi, nie argumentując jej (12 – nie, 9 – tak, 1 – inne). Przy określeniu wpływu terenu na czas montażu części przęsłowej odpowiedzi twierdzących było natomiast 7, przeczących 13 oraz dwie inne (ze wskazaniem, że ukształtowanie terenu wpływa na możliwości składowania elementów konstrukcyjnych przy osi budowy mostu, a w efekcie pośrednio na tempo montażu przez dostępność elementów i możliwe trudności z transportem poziomym elementów).

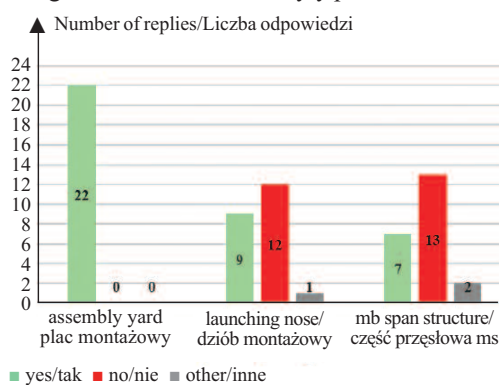


Fig. 8. Impact of terrain configuration in the construction area on the duration of selected basic processes

Rys. 8. Wpływ ukształtowania terenu w rejonie budowy na czas wykonania wybranych procesów podstawowych

Modelling of process execution time

In order to account for the influence of the identified execution-related factors on the duration of preparatory and primary processes involved in the construction of modular bridge spans, a theoretical model was developed, as presented in Figure 9.

Modelowanie czasu wykonania procesów

W celu uwzględnienia wpływu wskazanych czynników realizacyjnych na czas wykonania procesów przygotowawczych i zasadniczych przy realizacji przeseł mostów składanych, zbudowano model teoretyczny przedstawiony na rysunku 9.

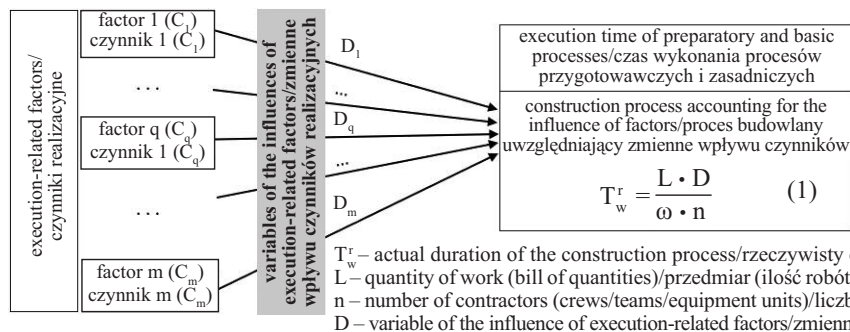


Fig. 9. Process execution time model taking into account the impact of implementation factors

Rys. 9. Model czasu wykonania procesu z uwzględnieniem zmiennych wpływu czynników realizacyjnych

The model assumes the determination of the influence of individual factors on the duration of preparatory and assembly processes by assigning appropriate variables values [16]. The average duration of the construction process (without taking the variables of the influence of factors into account) is estimated according to the following relationship:

$$\bar{T}_w = \frac{L}{\omega \cdot n} \quad (2)$$

In order to account for the influence of individual personal, location-related, technical, and logistical factors on the execution time of modular bridge span structures, a variable D , was introduced into equation (2) to represent the effect of the identified factors. The overall influence of the considered factors can be estimated according to the following formula:

$$D = \prod_{q=1}^m D_q = D_1 \cdot D_2 \cdot \dots \cdot D_q \cdot \dots \cdot D_m \quad (3)$$

where: $D_q \in (0, \psi)$

Relationship (2) used to estimate the actual time required for the assembly of a modular bridge span, that is, the time accounting for the adopted factors, is shown in Figure 9. Variable D , taking into account the influence of individual factors D_q take values within the interval $(0, \psi)$, where ψ is an appropriate positive limiting value. This value may be defined individually for each factor and represents a positive threshold beyond which further increases result in estimated execution times falling outside a realistic range and raise doubts regarding the efficiency of execution and, in practice, the feasibility of the works.

Discussion

Based on the results of the conducted questionnaire survey and the authors' opinions, an updated organisational structure and scope of tasks of the assembly team were defined, in a manner adequate to the current equipment of engineering troops subunits (Table 3). The assembly team should include,

Model zakłada określenie wpływu poszczególnych czynników na czas wykonania procesów przygotowawczych i montażowych, przez ustalenie odpowiednich wartości zmiennych [16]. Średni czas realizacji procesu budowlanego (bez uwzględnienia zmiennych wpływu czynników realizacyjnych) szacuje się wg zależności:

$$\bar{T}_w = \frac{L}{\omega \cdot n} \quad (2)$$

W celu uwzględnienia wpływu poszczególnych czynników osobowych, lokalizacyjnych, technicznych oraz logistycznych na czas wykonania kpm s wprowadzono do wzoru (2) zmienną D , która uwzględnia wpływ wskazanych czynników. Łączny wpływ uwzględnianych czynników można oszacować wg wzoru:

$$D = \prod_{q=1}^m D_q = D_1 \cdot D_2 \cdot \dots \cdot D_q \cdot \dots \cdot D_m \quad (3)$$

gdzie: $D_q \in (0, \psi)$

Zależność (2) do szacowania rzeczywistego czasu wykonania montażu przeszła ms , tj. czasu uwzględniającego zmienne wpływu przyjętych czynników, ma postać jak na rysunku 9. Zmienna D , uwzględniająca wpływ poszczególnych czynników D_q przyjmuje wartości z przedziału $(0, \psi)$, gdzie ψ – odpowiednia, graniczna wartość dodatnia. W przypadku każdego z czynników może ona być dowolną wartością dodatnią, która wskazuje, że jej dalsze zwiększanie skutkuje uzyskaniem oszacowania czasu wykonania prac spoza realnego przedziału oraz powstaniem wątpliwości dotyczących efektywności wykonywania i *de facto* wykonalności prac.

Dyskusja

Na podstawie przeprowadzonych badań ankietowych określono uaktualnioną strukturę organizacyjną i zakres zadań zespołu montażowego, uwzględniające obecne wyposażenie pododdziałów wojsk inżynieryjnych (tabela 3).

Table 3. The final composition of the assembly team and the scope of work of team members

Tabela 3. Wynikowy skład zespołu montażowego i zakres prac członków zespołu

Number of personnel/ Liczba osób	Position/Stanowisko	Scope of tasks/Zakres prac
1	team leader/kierujący zespołem	planning, organisation, task assignment, supervision/planowanie, organizacja, stawianie zadań, kontrola
1	lifting equipment operator/ operator urządzenia dźwigowego	operation of lifting equipment; handling of components/obsługa urządzenia dźwigowego, podawanie elementów
1	backhoe loader/forklift operator/operator wózka widłowego/koparko-ładowarki	operation of the machine; handling of components/obsługa maszyny, podawanie elementów
2	assembler/monter	connection of girder elements (left girder) – spatial trusses, planar trusses, transverse beams; placement of deck slabs; installation of kerbs; slinging of hooks/łączenie elementów dźwigara (lewego) – kratownice przestrzenne, kratownice płaskie, belki poprzeczne, układanie płyt jezdni, montaż krawężników, podczepianie haków
2	assembler/monter	connection of girder elements (right girder) – spatial trusses, planar trusses, transverse beams; placement of deck slabs; installation of kerbs; slinging of hooks/łączenie elementów dźwigara (prawego) – kratownice przestrzenne, kratownice płaskie, belki poprzeczne, układanie płyt jezdni, montaż krawężników, podczepianie haków
2	assembler (including 1 heavy-duty vehicle driver)/monter (w tym 1 kierowca samochodu c-t)	installation of remaining components – wind bracing, pins; bridge launching/tensioning – winch installed in an off-road truck/montaż pozostałych elementów – wiatrownice, zawlecзки, nasuwanie/naciąganie mostu – wciągarka w samochodzie ciężarowo-terenowym

among others, six assemblers, one of whom should hold qualifications to operate heavy vehicles, enabling the longitudinal launching of the span structure using a winch mounted on a heavy-duty vehicle. The team also includes a lifting equipment operator and a backhoe loader operator (alternatively, a forklift operator). Proper execution of the works is supervised by the team leader, who plans and organises the activities, assigns tasks, oversees the work, and controls the correct execution of construction operations.

40% of the experts indicated the need to add a hook to the assembly team in order to support the attachment of structural elements to the lifting device rigging. However, such a comment did not appear in 60% of the experts' responses. We believe that this activity can be performed by designated assemblers. Two alternative variants of equipment for the assembly team were proposed: Variant I – a forklift, or Variant II – a backhoe loader. The role of each of these machines is to provide horizontal transport of the structural elements of the bridge span. A heavy off-road truck equipped with a winch was also added to account for the possibility of launching the span structure onto the supports using an appropriate system of anchoring piles, rigging, and rope blocks. Equipping the assembly team with such a vehicle necessitates the inclusion of a team member holding the appropriate driving qualifications, as highlighted in Table 3. The expert interview made it possible to identify a relatively large set of 19 factors potentially influencing the construction time of the span structure of modular bridges (Table 4).

Analysis of expert opinions according to the positions held. Experts holding executive positions most frequently indicated personal factors, as well as terrain configuration, logistical disruptions, work motivation, and weather conditions. Approximately 75% of respondents from this group also identified the possibility of arranging temporary storage areas, ground and groundwater conditions, and vegetation cover in the bridge construction area as relevant factors. One respondent indicated convenient access to and exit from the construction site.

Experts holding managerial positions unanimously indicated the experience of the assembly team and the lifting equipment operator as key factors. More than 90% of respondents from this group identified terrain configuration as the most significant factor. Approximately 85% of commanders indicated convenient access to and exit from the construction site as well as the presence of spatial constraints in the assembly area. Nearly 78% of respondents emphasised the importance of the experience of the construction manager and work motivation. The remaining factors were indicated with varying frequency. Experts holding headquarters positions unanimously indicated the experience of the assembly team, terrain configuration, the presence of spatial constraints in the construction area, and the availability of modern assembly equipment. Approximately 75% of experts in this group also pointed to the experience of the lifting equipment operator, convenient access to and exit from the construction site, ground and groundwater conditions, and the timeliness of collection and delivery of structural elements. Half of the respondents identified the experience of the construction manager, the possibility of arranging temporary

W skład zespołu powinno wejść m.in. sześciu monterów, z czego jeden z uprawnieniami do kierowania pojazdami ciężarowymi, co umożliwi nasuwanie konstrukcji przęsłowej z wykorzystaniem wciągarki zamontowanej w pojeździe ciężarowym, a ponadto operator urządzenia dźwigowego oraz operator koparko-ładowarki (ewentualnie operator wózka widłowego). Nad poprawną realizacją prac czuwa kierujący zespołem, który planuje, organizuje, określa zadania, nadzoruje pracę oraz kontroluje poprawne wykonanie robót.

40% ekspertów wskazało na potrzebę dodania hakowego do składu zespołu montażowego, aby pomagał podczepiać elementy do zawiesi urządzenia dźwigowego, a w 60% odpowiedzi nie pojawiła się taka sugestia. Uważamy, że czynność tę mogą wykonywać wyznaczeni monterzy. Do proponowanych wariantów wyposażenia zespołu montażowego wprowadzono: wariant I – wózek widłowy lub wariant II – koparko-ładowarkę. Zadaniem każdej z tych maszyn jest transport poziomy elementów konstrukcyjnych przęsła mostu. Dodano również samochód ciężarowo-terenowy (c-t) wyposażony we wciągarkę, aby uwzględnić możliwość nasuwania konstrukcji przęsłowej na podpory z wykorzystaniem odpowiedniego układu pali kotwiących, olinowania i zbloczy liny. Wyposażenie zespołu montażowego w samochód c-t generuje konieczność posiadania osoby z odpowiednimi uprawnieniami (tabela 3). Wywiad ekspercki pozwolił również określić zbiór dziewiętnastu czynników potencjalnie wpływających na czas budowy części przęsłowej mostów składanych (tabela 4).

Analiza opinii ekspertów w zależności od zajmowanego stanowiska. Specjaliści zajmujący stanowiska wykonawcze wśród czynników wpływających na czas budowy wskazywali najczęściej czynniki osobowe, sposób ukształtowania terenu i ograniczenia przestrzenne, zakłócenia logistyczne oraz motywację do pracy i warunki atmosferyczne. Ok. 75% respondentów z tej grupy wymieniło wśród tych czynników możliwość przygotowania tymczasowych placów składowych, warunki gruntowo-wodne, posycie roślinnością rejonu budowy mostu. Jedna osoba wskazała na dogodny dojazd i wyjazd z budowy.

Eksperci zajmujący stanowiska kierownicze jednogłośnie wskazali na doświadczenie zespołu montażowego i operatora urządzenia dźwigowego. Ponad 90% osób z tej grupy wymieniło sposób ukształtowania terenu jako czynnik najistotniejszy. Ok. 85% dowódców wskazało dogodny dojazd i wyjazd z budowy oraz występowanie ograniczeń przestrzennych w rejonie montażu, a ok. 78% respondentów podkreśliło istotność doświadczenia kierującego robotami oraz motywację do pracy. Na pozostałe czynniki głosowano z różną powtarzalnością. Specjaliści zajmujący stanowiska sztabowe jednogłośnie wskazali na doświadczenie zespołu montażowego, ukształtowanie terenu, występowanie ograniczeń przestrzennych w rejonie budowy oraz dostępność nowoczesnego sprzętu montażowego. Ok. 75% ekspertów z tej grupy wskazało również na doświadczenie operatora urządzenia dźwigowego, dogodny dojazd i wyjazd z budowy, warunki gruntowo-wodne, terminowość odbioru i dostawy elementów konstrukcji. Połowa respondentów jako istotne

Table 4. Factors influencing the construction time of modular bridges – own opinion and expert opinion

Tabela 4. Wskazane czynniki wpływające na czas budowy ms – stanowisko własne i stanowisko ekspertów

Lp.	Group/ Grupa	Factor/Czynniki	Author's assessment (5) [%]/ Stanowisko własne (5) [%]	Experts' position/Stanowisko ekspertów							Resulting aggregated classification of factors/ Wynikowe zestawienie czynników
				type of position held/ zajmowany rodzaj etatu			work experience [years]/ staż pracy [lata]				
				operational (4) [%]/ wykonaw- cze (4) [%]	managerial (14) [%]/ kierownicze (14) [%]	headquar- ters (4) [%]/ sztabowe (4) [%]	0-3 (5) [%]	4-10 (4) [%]	11-20 (6) [%]	over/ ponad 20 (7) [%]	
1	personal factors/ czynników osobowych	experience of construction managers/ doświadczenie kierujących robotami	100	100	78	50	80	100	50	85	C ₁
2		experience of the assembly team/ doświadczenie zespołu montażowego	100	100	100	100	100	100	100	100	C ₂
3		experience of the crane/lifting equip- ment operator/doświadczenie operatora żurawia/urządzenia dźwigowego	100	100	100	75	100	100	100	85	C ₃
4	location- -related factors/ czynników lokaliza- cyjnych	terrain configuration in the structural assembly area/ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji	100	100	92	100	100	100	100	85	C ₄
5		convenient access to and exit from the construction site/dogodny dojazd i wyjazd z budowy	100	25	85	75	60	100	33	100	C ₅
6		spatial constraints in the structural assembly area/ograniczenie przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji	100	100	85	100	100	100	66	100	C ₆
7		possibility of establishing temporary storage yards/możliwość urządzenia tymczasowych placów składowych	80	75	42	50	40	25	33	85	C ₇
8		ground and water conditions/ warunki gruntowo-wodne	100	75	64	75	80	25	66	85	
9		terrain masking features/ walory maskujące terenu	20	0	7	0	0	0	0	14	
10		vegetation cover in the bridge con- struction area/poszycie roślinnością rejonu budowy mostu	40	75	42	25	60	25	66	28	
11	technical disturbances/ zakłóceń technicznych	condition of the span structure com- ponents/stan utrzymania elementów konstrukcji przęsłowej	80	0	14	25	0	0	0	42	
12		operational efficiency of assembly equipment/sprawność sprzętu montażowego	80	0	21	25	0	0	16	42	
13	logistical disturbances/ zakłóceń logisty- cznych	availability of modern assembly equipment/dostępność nowoczesnego sprzętu montażowego	80	100	50	100	80	75	66	57	
14		timeliness of inspection and delivery of structural components/terminowość odbioru i dostawy elementów konstrukcji	80	100	50	75	80	75	50	57	
15	other factors/ pozostałych czynników	total length of the span structure/ całkowita długość konstrukcji przęsłowej	60	0	35	25	20	0	16	57	
16		work motivation/motywacja do pracy	60	100	78	50	80	100	66	71	
17		weather conditions/warunki atmosferyczne	60	100	57	50	60	75	50	71	
18		proper preparation of the assembly yard/ poprawne przygotowanie placu roboczego	60	0	7	25	40	0	0	0	
19		tactical protection/zabezpieczenie taktyczne	0	0	7	0	0	0	0	14	

storage areas, work motivation, and weather conditions as significant factors. One respondent indicated vegetation cover along the banks, technical disruptions, the total length of the span structure, and proper preparation of the assembly yard.

Analysis of expert opinions according to professional experience. Expert opinions were divided into four groups: 1) up to 3 years of experience, 2) 4 – 10 years, 3) 11 – 20 years, and 4) more than 20 years of experience. Experts with up to 10 years of experience (Groups 1 and 2) pointed to work motivation much more frequently than experts with longer service records. In the group with 0–3 years of experience, the factor of proper preparation of the assembly yard appeared twice, constituting an original response compared with the other experience groups. Similarly, in the group of respondents with more than 20 years of experience, tactical security and terrain masking characteristics appeared as unique factors in the responses. Logistical disruptions were most frequently indicated in the first experience group (0–3 years). In contrast, technical disruptions were indicated only by specialists with more than 10 years of professional experience. Regardless of the experience group, specialists most frequently indicated personal factors as well as selected location-related factors, in particular terrain configuration and the presence of spatial constraints in the assembly area.

Ultimately, following the analysis of the experts' responses, nine factors were identified that were indicated with the highest frequency (a minimum of 15 indications out of 22 experts). These factors are:

- 1) experience of construction managers,
- 2) experience of the assembly team,
- 3) experience of the lifting equipment operator,
- 4) terrain configuration in the structure assembly area,
- 5) convenient access to and exit from the construction site,
- 6) spatial constraints in the structure assembly area,
- 7) ground and groundwater conditions,
- 8) availability of modern assembly equipment,
- 9) work motivation.

The remaining ten factors were indicated by the experts with lower frequency and were therefore not included in the further analysis. These disruptions can be largely eliminated at the stage of construction planning and during the execution of preparatory works.

The resulting list of important execution-related factors. The factors adopted by us were consistent with the experts' opinions, with the exception of two factors indicated by the experts but not included in our assessment, namely work motivation and the availability of modern assembly equipment. Which was justified this position by referring to the modernisation of bridge units' equipment, which has already been carried out and is still ongoing, involving the introduction of modern specialised equipment.

Table 4 presents the classification of the authors' and experts' opinions by position held and length of service. The final column of Table 4 presents the resulting summary of seven factors C1-C7, based on the authors' and experts' opinions. These factors overlapped in the experts' and authors' indications and were subjected to further analysis.

Using our own experience in the implementation of modular bridges, attempted to determine the variable influence of seven

określiła doświadczenie kierującego robotami, możliwość urządzenia tymczasowych placów składowych, motywację do pracy i warunki atmosferyczne. Jedna osoba wskazała na posycie roślinnością brzegów, zakłócenia techniczne, całkowitą długość konstrukcji przeszłowej i poprawne przygotowanie placu montażowego.

Analiza opinii ekspertów w zależności od stażu pracy. Opinie te podzielono na cztery grupy: 1) do 3 lat pracy; 2) 4 – 10 lat; 3) 11 – 20 lat oraz 4) grupa powyżej 20 lat pracy. Stwierdzono, że eksperci z grup 1 i 2 dużo częściej wskazywali czynnik motywacji do pracy niż eksperci z większym stażem służby. W grupie stażowej 0 – 3 lata pracy pojawił się dwukrotnie czynnik poprawnego przygotowania placu montażowego, co stanowiło oryginalną odpowiedź na tle innych grup stażowych. Podobnie w grupie respondentów ze stażem powyżej 20 lat pojawiły się, jako ewenementy w odpowiedziach, czynniki zabezpieczenia taktycznego oraz walory maskujące terenu, jak również stan utrzymania konstrukcji. Zakłócenia logistyczne najczęściej wskazywane były w pierwszej grupie stażowej (0 – 3 lata), natomiast na zakłócenia techniczne wskazali jedynie specjaliści ze stażem powyżej 10 lat. Niezależnie od grupy stażowej specjaliści najczęściej wymieniali czynniki osobowe oraz część czynników lokalizacyjnych (ukształtowanie terenu, występowanie ograniczeń przestrzennych w rejonie montażu).

Ostatecznie, po analizie odpowiedzi ekspertów wyłoniono 9 czynników, które wskazywane były z największą powtarzalnością (minimum 15 wskazań na 22 ekspertów). Są to:

- 1) doświadczenie kierujących robotami;
- 2) doświadczenie zespołu montażowego;
- 3) doświadczenie operatora urządzenia dźwigowego;
- 4) ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji;
- 5) dogodny dojazd i wyjazd z budowy;
- 6) ograniczenia przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji;
- 7) warunki gruntowo-wodne;
- 8) dostępność nowoczesnego sprzętu montażowego;
- 9) motywacja do pracy.

Pozostałe 10 czynników wskazywane było przez ekspertów z mniejszą częstotliwością i z tego powodu nie zostało uwzględnionych w dalszej analizie. Zakłócenia te można w znacznej części wyeliminować na etapie planowania budowy i realizacji prac przygotowawczych.

Wynikowa lista istotnych czynników realizacyjnych. Przyjęte przez nas czynniki były zgodne ze stanowiskiem ekspertów, z wyjątkiem dwóch, wskazanych w ich opiniach, a nieuwjętych w naszych, tj. motywacja do pracy oraz dostępność nowoczesnego sprzętu montażowego, co uzasadniono przeprowadzoną dotychczas i trwającą nadal modernizacją wyposażenia jednostek mostowych w nowoczesny sprzęt specjalistyczny.

W tabeli 4 przedstawiono klasyfikację opinii w zależności od zajmowanego stanowiska oraz od stażu pracy. W ostatniej kolumnie zamieszczono wynikowe zbiorcze zestawienie siedmiu czynników C1-C7 opracowane na podstawie opinii własnej oraz ekspertów. Czynniki te pokrywały się i poddano je dalszej analizie.

Wykorzystując doświadczenia własne w wykonawstwie mostów składanych, podjęto próbę określenia zmiennych

execution-related factors in fifteen selected bridge constructions – Table 5. The D_q values in Table 5 were estimated based on our own expert opinion, taking into account the actual involvement in the analyzed investments, and the D values were calculated in accordance with expression (3).

When formulating their own opinions on the significance of the influence of individual factors, the authors considered their importance with respect to the division into preparatory works and primary works. As a result, they concluded that:

- the rate of execution of preparatory works, namely the preparation of the assembly yard, is most strongly influenced by terrain configuration in the structure assembly area (factor 4), spatial constraints in the assembly area (factor 6), and ground and groundwater conditions (factor 8);
- the rate of execution of the assembly of the primary span structure is most strongly influenced by factors such as the experience of the assembly team (factor 2), the experience of the lifting equipment operator (factor 3), terrain configuration in the structure assembly area (factor 4), and convenient access to and exit from the construction site (factor 5).

wpływu siedmiu czynników realizacyjnych w przypadku piętnastu wybranych realizacji obiektów mostowych (tabela 5). Wartości D_q w tabeli 5 oszacowano na podstawie własnej opinii eksperckiej, uwzględniającej faktyczne zaangażowanie w analizowanych inwestycjach, a wartości D zgodnie z wyrażeniem (3).

Podczas formułowania własnych opinii dotyczących istotności wpływu poszczególnych czynników, rozważano ich istotność z uwzględnieniem podziału na prace przygotowawcze i prace zasadnicze. Stwierdzono, że:

- na tempo wykonania prac przygotowawczych, tj. przygotowania placu montażowego, najbardziej wpływają: ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji (czynnik 4 w tabeli 4), ograniczenia przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji (6) i warunki gruntowo-wodne (8);
- na tempo wykonania montażu zasadniczej konstrukcji przęsłowej w największym stopniu wpływają czynniki takie, jak: doświadczenie zespołu montażowego (2); doświadczenie operatora urządzenia dźwigowego (3); ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji (4) oraz dogodny dojazd i wyjazd z budowy (5).

Table 5. A summary of selected modular bridge projects with an estimate of the increase or decrease in the construction time of modular bridge spans, taking into account the existing construction conditions. The impact of selected groups of construction factors on the construction time of modular bridge spans

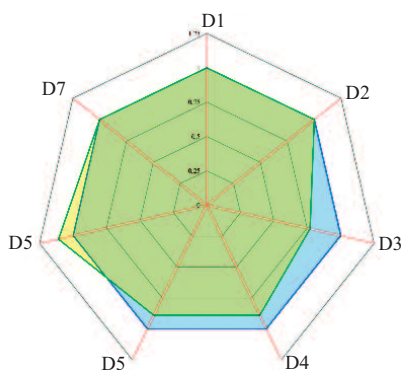
Tabela 5. Zestawienie wybranych realizacji ms z oszacowaniem wydłużenia lub skrócenia czasu wykonania kpmś z uwzględnieniem występujących uwarunkowań realizacyjnych. Wpływ wybranych grup czynników realizacyjnych na czas wykonania kpmś

ID of the modular bridge/ Nr mostu składanego	Experience of/Doświadczenie			Terrain configuration in the structural assembly area/ Ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji	Convenient access to and exit from the construction site/ Dogodny dojazd i wyjazd z budowy	Spatial constraints in the structural assembly area/ Ograniczenia przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji	Ground and water conditions/ Warunki gruntowo-wodne	Change in the execution time of mbss resulting from the consideration of/ Zmiana czasu wykonania kpmś w wyniku uwzględnienia		
	construction managers/ kierujących robotami	the assembly team/ zespołu montażowego	the crane/lifting equipment operator/operatora żurawia/urządzenia dźwigowego					personal factors G1/ czynników osobowych G1	location-related factors G2/ czynników lokalizacyjnych G2	both groups of factors/ obu grup czynników
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D - G1	D - G2	D
1	1	1	0,77	0,89	0,89	1,11	1	0,77	0,879	0,677
2	0,87	0,69	0,77	1,15	1,05	1,2	1,05	0,462	1,521	0,703
3	1	0,85	0,8	1,2	1,15	1,25	1,1	0,68	1,898	1,29
4	0,9	0,9	0,8	1,1	1,05	1,15	1,05	0,648	1,395	0,904
5	0,9	0,9	0,8	1,2	1,05	1,25	1,05	0,648	1,654	1,072
6	1,15	1,15	1	1,15	1,2	1,1	1,05	1,323	1,594	2,108
7	1	1,1	0,9	1	1,1	1	1	0,99	1,1	1,089
8	0,9	0,75	0,9	1,1	1,2	1,3	1,1	0,608	1,888	1,147
9	1,15	0,9	0,9	1,15	1,3	1,3	1,15	0,932	2,235	2,082
10	1,1	1,1	1	1	1,05	1,25	1,1	1,21	1,444	1,747
11	1	0,85	0,8	1,1	1	1,15	1	0,68	1,265	0,86
12	0,9	0,8	0,8	1,1	1,05	1,3	1,05	0,576	1,577	0,908
13	0,9	0,8	0,8	1,1	1	1,2	1,1	0,576	1,452	0,836
14	0,85	0,77	0,9	1,2	1	1,15	1,15	0,589	1,587	0,935
15	1,1	1,1	0,8	1,15	1,1	1,2	1,1	0,968	1,67	1,616

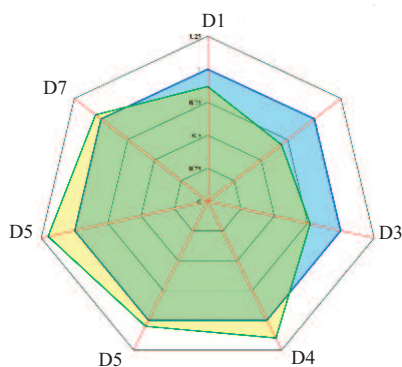
Figure 10 presents, in the form of radar charts, the influence of individual factors (among the selected seven) with respect to four exemplary bridge construction projects chosen from the set listed in Table 5. In the charts, seven radially arranged axes represent the average execution time of modular bridge span structures not affected by the considered factors (blue polygon) as well as the estimated values of the impact variables of individual execution-related factors D1–D7 (yellow polygon with a green outline) on this time. Figures 10(a) and 10(b) illustrate cases in which the combined influence of execution-related factors enabled a reduction in the construction time of modular bridge span structures, whereas Figures 10(c) and 10(d) show cases in which the combined influence of these factors resulted in a very significant extension of the construction time. The green polygon is created by superimposing a yellow and blue polygon. The polygons have a non-zero transparency setting. With reference to the bridges included in the list presented in Table 5, a theoretical model for estimating the execution time of modular bridge span structures was applied, taking into account the influence of the resulting execution-related factors (Figure 9). Using this model, the relative influence

Na rysunku 10 przedstawiono wpływ poszczególnych czynników (spośród siedmiu wybranych), w odniesieniu do czterech, przykładowych realizacji mostów z tabeli 5. Na promieniście rozłożonych osiach umieszczono wielkości przeciętnej, niezmiennego wpływem czynników czasu wykonywania k_{pms} (niebieski wielobok) oraz oszacowane wartości zmiennych wielkości wpływu (D1–D7) poszczególnych czynników realizacyjnych (wielobok żółty z zieloną krawędzią) na ten czas. Na rysunkach 10a oraz 10b widoczne są przypadki, w których łączny wpływ czynników realizacyjnych umożliwił skrócenie czasu wykonywania k_{pms} , natomiast na rysunkach 10c oraz 10d przypadki, w których łączny wpływ czynników spowodował znaczne wydłużenie czasu wykonania k_{pms} . Wielokąt zielony wynika z nałożenia na siebie wielokąta żółtego i niebieskiego. Wielokąty mają ustawiony parametr przezroczystości różny od zera. W przypadku mostów ujętych w tabeli 5, wykorzystano model teoretyczny szacowania czasu wykonania k_{pms} z uwzględnieniem wpływu wynikowych czynników realizacyjnych (rysunek 9). Za jego pomocą oszacowano wpływ grupy czynników osobowych i lokalizacyjnych oraz łączny wpływ wszystkich sied-

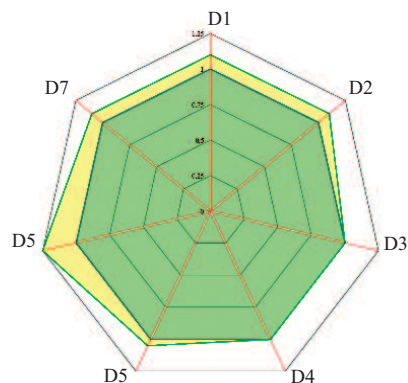
a) chart of the influence of factors on the assembly time of the span structure
– bridge No. 1/
wykres wpływu czynników na czas montażu konstrukcji przęsłowej
– most nr 1



b) chart of the influence of factors on the assembly time of the span structure
– bridge No. 2/
wykres wpływu czynników na czas montażu konstrukcji przęsłowej
– most nr 2



c) chart of the influence of factors on the assembly time of the span structure
– bridge No. 9/
wykres wpływu czynników na czas montażu konstrukcji przęsłowej
– most nr 9



d) chart of the influence of factors on the assembly time of the span structure
– bridge No. 10/
wykres wpływu czynników na czas montażu konstrukcji przęsłowej
– most nr 10

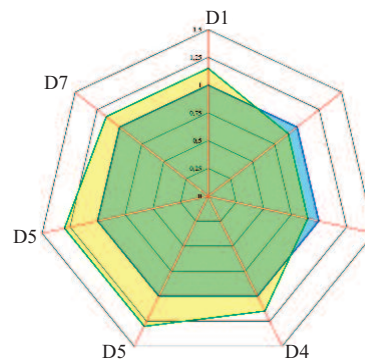


Fig. 10. Charts showing the relative impact of implementation factors D1-D7 on the construction time of the span structure of selected bridge structures (structures No. 1, 2, 9, and 10 from table 5)

Rys. 10. Wykresy względnego wpływu czynników realizacyjnych D1-D7 na czas budowy konstrukcji przęsłowej wybranych obiektów mostowych (obiekty nr 1, 2, 9 i 10 z tabeli 5)

of the group of personal factors and location-related factors was estimated, as well as the combined influence of all seven execution-related factors listed in the last column of Table 4.

The chart of the magnitudes of the influence of the groups of personal and location-related factors on the execution time of modular bridge span structures is presented in Figure 11, whereas the analogous chart illustrating the combined influence of both groups of factors on the execution time is shown in Figure 12.

Based on our own experience and experts opinions, the following conclusions can be drawn:

- 1) one factor, namely the experience of the assembly team, was unanimously indicated by all participants in the study;
- 2) the most significant group was considered to be personal factors (three factors);
- 3) in the responses execution-related factors from the group of location-related factors (four factors) occurred with high frequency, namely terrain configuration in the structure

miu czynników realizacyjnych wymienionych w ostatniej kolumnie tabeli 4.

Wykres wielkości wpływu na czas wykonania *kpms* grup czynników osobowych i lokalizacyjnych przedstawiono na rysunku 11, natomiast analogiczny wykres wielkości łącznego wpływu obu grup czynników na czas wykonania *kpms* na rysunku 12.

Na podstawie doświadczeń własnych oraz opinii ekspertów stwierdzono, że:

- 1) doświadczenie zespołu montażowego zostało wskazane jednogłośnie przez wszystkich uczestników badań;
- 2) za najistotniejszą uznano grupę czynników osobowych (trzy czynniki);
- 3) z dużą powtarzalnością w odpowiedziach występowały czynniki realizacyjne (cztery czynniki) z grupy czynników lokalizacyjnych, tj. ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji, dogodny dojazd i wyjazd z budowy, ograniczenia przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji oraz warunki

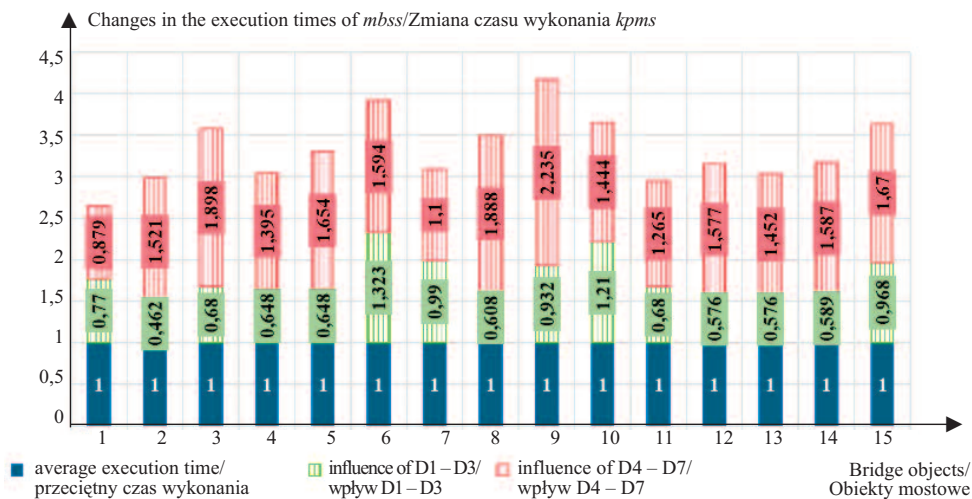


Fig. 11. Relative impact of personal factors (green) and location factors (red) on the construction time of modular bridge spans
*Rys. 11. Względne wielkości wpływu na czas wykonania *kpms* grup czynników osobowych (kolor zielony) i lokalizacyjnych (kolor czerwony)*

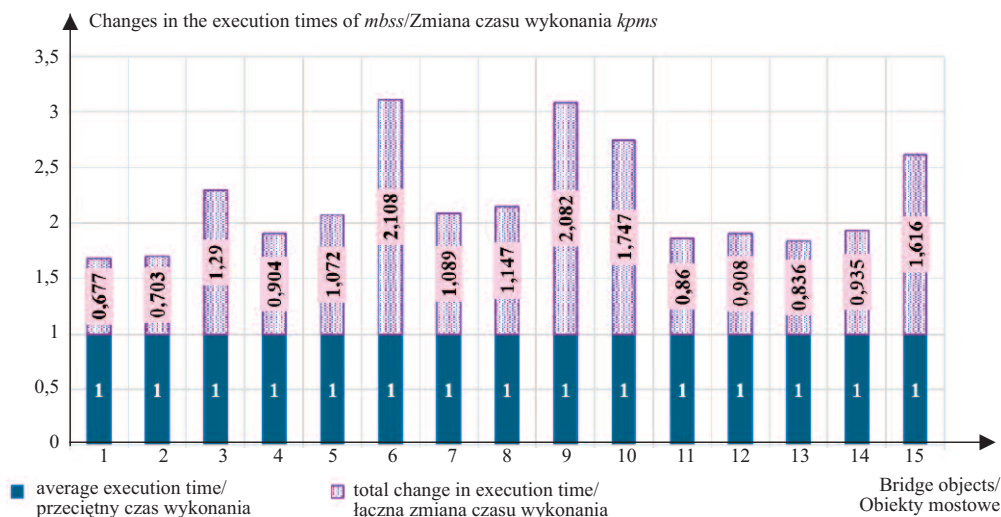


Fig. 12. Relative impact of both personal and location factors on the construction time of modular bridge spans
*Rys. 12. Względne wielkości wpływu na czas wykonania *kpms* obu grup czynników osobowych i lokalizacyjnych*

assembly area, convenient access to and exit from the construction site, spatial constraints in the assembly area, and ground and groundwater conditions; therefore, these factors were recognised as significantly determining the construction time of modular bridge span structures;

4) the final consolidated set of factors determining the construction time of modular bridge span structures is presented in the last column of Table 4;

5) in the final set of execution-related factors, two factors, namely work motivation and the availability of modern assembly equipment were not included, justifying this decision by the ongoing modernisation of bridge unit equipment.

Conclusions

The paper analysed the comprehensive construction process involving the preparation, assembly, and placement of the span structure of a DMS-65 modular bridge on completed supports. The main research problem was the identification and assessment of the influence of key execution-related factors on the construction time of the span structure of this type of bridge. A preliminary issue addressed was the updating of opinions regarding the determination of a typical assembly team composition and the scope of tasks performed by the assembly team members.

In the course of the study, a series of original analyses and investigations of selected modular bridge construction projects were carried out. In addition, a questionnaire survey was planned, organised, and conducted with the participation of a group of 22 expert practitioners in the field of modular bridge construction. An updated composition and scope of activities of the assembly team were developed, taking into account selected expert recommendations, in particular those concerning the recommended variants of assembly team equipment and changes in task allocation. A consolidated final set of factors influencing the construction time of modular bridge span structures was identified (Table 4).

The comparison of our own and experts opinions made it possible to establish **a set of seven key execution-related factors determining the overall construction time of modular bridge span structures**. These factors include:

- 1) experience of construction managers,
- 2) experience of the assembly team,
- 3) experience of the lifting equipment operator,
- 4) terrain configuration in the structure assembly area,
- 5) convenient access to and exit from the construction site,
- 6) spatial constraints in the structure assembly area,
- 7) ground and groundwater conditions.

The considered groups of execution-related factors (Table 4) were analysed in terms of their combined (group-level) influence on the duration of construction works using the developed theoretical model. A relatively low influence was identified for factors classified within the groups of technical disruptions, logistical disruptions, and other factors. The influence of factors from the groups of personal and location-related factors was recognised as fundamental and most frequently occurring in real cases of modular bridge

ki gruntowo-wodne i stąd uznano je za istotnie determinujące czas budowy *kpms*;

4) wynikowe zbiorcze zestawienie czynników determinujących czas budowy *kpms* znajduje się w ostatniej kolumnie tabeli 4;

5) w wynikowym zestawieniu czynników realizacyjnych nie ujęto dwóch czynników, tj. motywacji do pracy oraz dostępności nowoczesnego sprzętu montażowego, uzasadniając to prowadzoną modernizacją wyposażenia jednostek mostowych.

Wnioski

W artykule poddano analizie kompleksowy proces przygotowania, montażu i ustawienia konstrukcji przęsłowej mostu składanego typu DMS-65 na podporach. Zidentyfikowano i oszacowano wpływ kluczowych czynników realizacyjnych na ogólny czas wykonania konstrukcji przęsłowej tego typu mostu. Wstępnym problemem była aktualizacja opinii dotyczących ustalenia typowego składu zespołu montażowego oraz zakresu prac wykonywanych przez członków zespołu montażowego.

Przeprowadzono wiele własnych analiz i badań wybranych przypadków realizacji mostów składanych oraz zaplanowano, zorganizowano i przeprowadzono badanie ankietowe z udziałem dwudziestu dwóch ekspertów-praktyków z zakresu budowy obiektów mostowych z konstrukcji składanych. Opracowano uaktualniony skład i zakres działań zespołu montażowego, uwzględniający wybrane propozycje ekspertów dotyczące m.in. rekomendowanych wariantów wyposażenia zespołu montażowego oraz zmian w przydziałach zadań. Określono zbiorcze wynikowe zestawienie czynników wpływających na czas budowy konstrukcji przęsłowej mostów składanych (tabela 4).

Przeprowadzone porównanie opinii własnych i ekspertów pozwoliło ustalić **zbiór siedmiu najistotniejszych czynników realizacyjnych determinujących ogólny czas wykonania *kpms***. Należą do nich:

- 1) doświadczenie kierujących robotami;
- 2) doświadczenie zespołu montażowego;
- 3) doświadczenie operatora urządzenia dźwigowego;
- 4) ukształtowanie terenu w rejonie montażu konstrukcji;
- 5) dogodny dojazd i wyjazd z budowy;
- 6) ograniczenia przestrzenne w rejonie montażu konstrukcji;
- 7) warunki gruntowo-wodne.

Rozpatrywane grupy czynników realizacyjnych (tabela 4) były analizowane w aspekcie ich łącznego (grupowego) wpływu na czas wykonywania prac z wykorzystaniem opracowanego modelu teoretycznego. Stwierdzono względnie niewielki wpływ czynników zaliczanych do grup zakłóceń technicznych, logistycznych i pozostałych czynników. Oddziaływanie czynników z grup osobowych oraz lokalizacyjnych uznano za zasadnicze i najczęściej występujące w realnych przypadkach budowy mostów składanych. Występowanie czynników osobowych w zdecydowanej większości analizowanych przypadków budowy mostów (tabela 5) znacznie skracało czas ich wykonania (maks. o ok. 33%), natomiast występowa-

construction. The presence of factors from the group of personal factors, in the vast majority of the analysed bridge construction cases (Table 5), significantly reduced the execution time (by up to approximately 33%), whereas the presence of factors from the group of location-related factors resulted in a substantial extension of the execution time (by up to approximately 110%).

It should be emphasised that, at a further stage of the research, it would be purposeful to conduct in situ time-and-motion studies focusing on the determination of the required labour time under average conditions as well as under various configurations of execution-related factors differing from typical conditions, together with a more precise assessment of the influence of these factors on the overall construction time of modular bridge spans [17].

Received: 25.11.2025

Revised: 07.01.2026

Published: 20.03.2026

nie czynników lokalizacyjnych wydłużyło ten czas (maks. o ok. 110 %).

W kolejnym etapie celowe jest przeprowadzenie badań chronometrażowych in situ, polegających na określeniu niezbędnych nakładów czasu pracy, w warunkach przeciętnych oraz w różnych konfiguracjach czynników realizacyjnych, innych niż przeciętne wraz z dokładniejszym określeniem wpływu tych czynników na ogólny czas realizacji prześel mostu składanego [17].

Artykuł wpłynął do redakcji: 25.11.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 07.01.2026 r.

Opublikowano: 20.03.2026 r.

Literature

- [1] Kristowski A. Modelowanie niepewności w harmonogramowaniu budowy podpór mostów składanych, Rozprawa doktorska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa (2002).
- [2] Marszałek J i inni. Mosty składane – projektowanie, budowa i eksploatacja, WAT i GDDKiA, Warszawa (2005).
- [3] Drogowy most składany DMS-65 – Budowa i eksploatacja, Ministerstwo Obrony Narodowej, Główne Kwatermistrzostwo WP, Szef. Kom. 135/79, Warszawa (1981).
- [4] Ostrowska A, Sztandur W. Metody organizacji prac i technologii budowy mostów składanych w warunkach eksploatacji cywilnej. Przegląd Budowlany. 2023; <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.6993>.
- [5] Ostrowska A, Chmielewski R. Overview of the organisation and technology of portable panel bridges. Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych. 2023; <https://doi.org/10.37105/iboa.167>.
- [6] Chmielewski R, Wolniewicz A, Ostrowska A, Mikulski E, Pęksa D, Huta W. Odbudowa infrastruktury transportowej Słowenii z udziałem państw NATO. Przegląd Budowlany. 2024. DOI: 10.5604/01.3001.0054.7605.
- [7] <https://www.gov.pl/web/gddkia-bialystok/objazd-po-tymczasowym-moscie-na-dk64-pod-wizna> (dostęp 20.01.2026).
- [8] Metodyka prowadzenia badań wojskowych przez grupy badawcze podczas ćwiczeń w SZ RP, Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych, Bydgoszcz 2013.

- [9] Leśniak A, Piskorz G. Czynniki opóźniające realizację przedsięwzięć budowlanych w systemie zaprojektuj i wybuduj. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura. 2018. DOI: 10.22630/ASPA. 2018.17.4.46.
- [10] Marcinkowski R, Krawczyńska-Piechna A. Projektowanie realizacji budowy, Wydawnictwo Naukowe PWN 2019.
- [11] Koper A, Marcinkowski R. Ocena i normowanie rozwiązań technologiczno-organizacyjnych procesów budowlanych. Budownictwo i Architektura. 2014; vol. 13 no. 4, pp. 365-371.
- [12] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U.2025.418).
- [13] Rozporządzenie Ministra Obrony Narodowej z 20 kwietnia 2022 r. w sprawie specjalistycznych usług wojskowych (Dz. U. 2022.886).
- [14] Leśniak A, Górka-Stańczyk M, Kołodziejczuk M. Kluczowe czynniki powstawania roszczeń w przedsięwzięciach budowlanych w Polsce – wyniki badań ankietowych. Przegląd Budowlany 2025; <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.4968>.
- [15] Tomczak M, Polat G. Agregacja ocen decydentów dla systemu predykcji czasów realizacji procesów budowlanych. BUILDER. 2023; <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.0143>.
- [16] Hoła B, Mrozowicz J, Modelowanie procesów budowlanych o charakterze losowym, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław. 2003.
- [17] Kowalczyk Z, Zabielski J. Kosztorysowanie i normowanie w budownictwie, WSiP Warszawa, 2005.