mgr inż. Alicja Ostrowska[1)*)]
ORCID: 0000-0002-5514-0719
dr inż. Grzegorz Jakubowski[1)]
ORCID: 0000-0001-9662-5723
dr hab. inż. Ryszard Chmielewski, prof. WAT[1)]
ORCID: 0000-0001-5662-9180

Studies of the impact of selected factors on the duration of modular bridge assembly processes

Badania wpływu wybranych czynników na czas wykonania procesów montażu mostów składanych

DOI: 10.15199/33.2026.07.07

Abstract. This paper describes the results of time-and-motion studies of selected basic processes involved in the assembly of the DMS-65 road bridge. Updated time standards were developed for these processes. In situ studies were conducted under various personnel and site conditions, which made it possible to determine the approximate impact of selected execution-related factors on the duration of the processes. The research verified the proposed theoretical model of the impact of these factors on the assembly time of modular bridges.
Keywords: time-and-motion studies; execution-related factors; modular bridges; time standards; organization and planning of construction projects.

Streszczenie. W artykule opisano wyniki badań chronometrażowych wybranych procesów podstawowych przy montażu drogowego mostu składanego DMS-65. Opracowano uaktualnione normy czasu na te procesy. Badania in situ przeprowadzono w różnych uwarunkowaniach osobowych i lokalizacyjnych, co pozwoliło określić przybliżony wpływ wybranych czynników realizacyjnych na czas wykonania procesów. W badaniach zweryfikowano zaproponowany model teoretyczny wpływu czynników na czas montażu mostów składanych.
Słowa kluczowe: badania chronometrażowe; czynniki realizacyjne; mosty składane; normy czasu; organizacja i planowanie przedsięwzięć budowlanych.

Technical standards are guidelines defining the product assortment, qualitative characteristics, technical requirements, and the resource inputs necessary for their production. Depending on the issues they address, technical standards are divided into: qualitative (standards) and quantitative (input standards). Human labor inputs and machine operation inputs are determined by working time standards, while material inputs are determined by material consumption standards per unit of good-quality production, executed in accordance with established technical principles, under intermediate organizational conditions, with a properly established technological process, rational management of production means, and appropriate working environment conditions [1]. These three types of inputs are referred to as material and labor inputs (in-kind inputs) [2, 3].

The values of unit resource input standards contained in the material and labor input catalogs are, as a rule, averaged, which means that in many situations they differ from times achieved under the conditions of a specific enterprise. In such cases, the basis of any organizational activities should be time standards adapted to the actual organizational and technological conditions present at the construction site, i.e., company standards [4]. Due to constant technological progress, standardization is an indispensable element of construction production organization [1]. The application of actual time

Normy techniczne to ustalenia określające asortyment wyrobów, cechy jakościowe, wymagania techniczne oraz nakłady niezbędne do ich wytworzenia. Ze względu na zagadnienia, których dotyczą, normy techniczne dzieli się na: jakościowe (standardy) oraz ilościowe (normy nakładów). Nakłady pracy ludzi i pracy maszyn są określane normami czasu pracy, a nakłady materiałów – normami zużycia materiałów na jednostkę produkcji dobrej jakości, wykonaną zgodnie z ustalonymi zasadami technicznymi, w przeciętnych warunkach organizacyjnych, przy prawidłowo ustalonym procesie technologicznym, racjonalnym gospodarowaniu środkami produkcji i prawidłowych warunkach środowiska pracy [1]. Te trzy rodzaje nakładów określa się mianem nakładów rzeczowych [2, 3].

Zawarte w katalogach nakładów rzeczowych wartości jednostkowych norm tych nakładów mają z zasady charakter uśredniony, dlatego też w wielu sytuacjach różnią się od osiąganych w warunkach konkretnego przedsiębiorstwa. W takich przypadkach podstawę wszelkich działań o charakterze organizatorskim powinny stanowić normy czasu dostosowane do rzeczywistych warunków organizacyjno-technologicznych występujących na terenie budowy, tzw. normy zakładowe [4]. Ze względu na stały postęp technologiczny, normowanie stanowi nieodzowny element organizacji produkcji budowlanej [1]. Stosowanie rzeczywistych wartości norm czasu w planowaniu procesu budowlanego zwiększa prawdopodobieństwo zgodności przebiegu realizacji budowy z rozwiązaniami przyjętymi w projekcie organizacji robót, a tym samym

[1)] Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji
[*)] Correspondence address: alicja.ostrowska@wat.edu.pl

standard values in the planning of the construction process increases the probability of conformity between the construction execution progress and the solutions adopted in the work organization design, thereby contributing to the rational scheduling of the construction project [4]. The development of adequate and realistic time standards through the application of appropriate work study methods is necessary in case where new types of works are executed, or works differing in the scope of component tasks from the scopes adopted, for example, in material and labor input catalogs (MLIC) [2].

There are specific construction works, such as the construction of modular bridges (MB), which require the development or updating of unit resource input standards due to their original military applications. Bridge structures of this type are most often used by the Polish Armed Forces (PAF) as detour bridges, temporary bridges, e.g., following natural disasters, or as military crossings [5]. Currently, modular bridge structures are also used by civilian entities during the renovation of permanent bridges. The first material and labor input catalogs for the construction of MB were developed at the Military University of Technology in 1998 [6]. The current MLICs regarding the construction of modular structures date back to 2009 [7]. Due to the ongoing modernization of PAF equipment and the partial obsolescence of the standards, an effort was undertaken to develop updated and realistic unit resource input standards. For this purpose, a study of the execution time of selected assembly processes, was conducted using the time-and-motion study technique. The measurement results were subjected to statistical analysis. During the in situ studies, in order to determine the impact of selected factors on the time of MB assembly processes, the personnel conditions (the experience levels of the assembly team and the crane operator) and site conditions (terrain topography with particular emphasis on existing terrain slopes) were varied. The aim of the article is also the verification of the theoretical model proposed in [5], using the results of the conducted time-and-motion studies.

Updating the time standards will serve as a tool for the organizer to develop work organization designs, and rationally schedule the construction project [8, 9].

Assumptions for the studies

The subject of the research was the DMS-65 road MB in the basic assembly configuration [5, 10], while the objective of the research was to determine the impact of selected factors on the execution time of assembly processes during the construction of MB. It is the only modular bridge structure currently in the equipment inventory of PAF engineering sub-units. Its widespread non-military application prompts efforts aimed at determining up-to-date time standards. Due to the fact that the processes selected for the research can be executed using various technological and organizational solutions, the basic (universal) method of MB assembly was adopted for the planned time-and-motion studies, i.e., the assembly of the span structure from individual assembly elements, carried out at the assembly site located along the bridge axis, with the longitudinal launching of completed spans onto previously

przyczynia się do racjonalnego harmonogramowania przedsięwzięcia budowlanego [4]. Opracowanie adekwatnych i urealnionych norm czasu przez zastosowanie odpowiednich metod badania pracy jest niezbędne w przypadku wykonywania nowych rodzajów robót lub robót różniących się zakresem czynności składowych od zakresów czynności przyjętych np. w katalogach nakładów rzeczowych (KNR) [2].

Istnieją specyficzne roboty budowlane, jak np. budowa mostów składanych *(ms)*, wymagające opracowania lub uaktualnienia jednostkowych norm nakładów rzeczowych, ze względu na ich pierwotne militarne zastosowanie. Konstrukcje mostowe tego typu najczęściej wykorzystywane są przez Siły Zbrojne RP (SZRP), jako mosty objazdowe, tymczasowe, np. po zaistnieniu klęsk żywiołowych lub jako przeprawy wojskowe [5]. Obecnie konstrukcje składane mostów używane są również przez podmioty cywilne, podczas remontu mostów stałych. Pierwsze katalogi nakładów rzeczowych budowy *ms* zostały opracowane w Wojskowej Akademii Technicznej w 1998 r. [6]. Bieżące KNR, dotyczące budowy konstrukcji składanych, pochodzą z 2009 r. z [7]. Ze względu na trwającą modernizację wyposażenia SZRP i częściową dezaktualizację norm, podjęto się opracowania uaktualnionych i urealnionych jednostkowych norm nakładów rzeczowych. W tym celu, przeprowadzono badanie czasu wykonania wybranych procesów montażowych techniką chronometrażu. Wyniki pomiarów poddano analizie statystycznej. Podczas wykonywania badań in situ, w celu określenia wpływu wybranych czynników na czas procesów montażowych *ms*, wariantowano uwarunkowania osobowe, (poziomy doświadczenia zespołu montażowego i operatora żurawia) oraz uwarunkowania lokalizacyjne (ukształtowanie terenu ze szczególnym uwzględnieniem występujących spadków terenu). Celem artykułu jest również weryfikacja modelu teoretycznego, zaproponowanego w [5], z wykorzystaniem wyników przeprowadzonych badań chronometrażowych.

Aktualizacja norm czasu będzie mogła stanowić narzędzie dla planisty do opracowywania projektów organizacji robót i racjonalnego harmonogramowania przedsięwzięcia budowlanego [8, 9].

Założenia do badań

Podmiotem badań był drogowy *ms* typu DMS-65 w podstawowym układzie montażowym [5, 10], natomiast przedmiotem badań było ustalenie wpływu wybranych czynników na czas wykonania procesów montażowych przy budowie *ms*. Jest to jedyna mostowa konstrukcja składana, będącą na wyposażeniu pododdziałów inżynieryjnych SZRP. Jej powszechne stosowanie pozamilitarne skłania do podjęcia prac zmierzających do określenia aktualnych norm czasu. W związku z tym, że wybrane do badań procesy mogą być wykonywane w różnych rozwiązaniach technologiczno-organizacyjnych, do planowanych badań chronometrażowych przyjęto zasadniczy sposób montażu *ms* (uniwersalny), tj. montaż konstrukcji przęsłowej z pojedynczych elementów montażowych, realizowany na placu montażowym zlokalizowanym w osi mostu, z nasuwaniem podłużnym gotowych przęseł na uprzednio wykonane podpo-

prepared bridge supports. The adopted assembly method covers: preparatory works including, among others: preparation of the assembly site and assembly of the launching nose; basic works including, among others: assembly of the modular bridge span structure (MBSS); and finishing works (excluded from the studies). It was assumed that the bridge assembly elements are within the reach of the crane and are available without delays (there is no downtime associated with the delayed delivery of elements).

The time-and-motion studies included the following assumptions and basic processes:

1) preparation of the assembly site by an intermediate execution team (table 1) under various site conditions (favorable, moderate, or adverse – table 3);

2) assembly of the launching nose structure by an intermediate execution team (tables 1 – 2), under moderate (intermediate) site conditions;

3) assembly of a 3-meter MB segment by assembly teams with varying experience (experienced, intermediate, and inexperienced team – table 1) and crane operators with varying experience (experienced and intermediate operator – table 2), under intermediate site conditions;

4) disassembly of a 3-meter MB segment by assembly teams with varying experience and crane operators with varying experience, under moderate site conditions.

The evaluation criteria and the actual evaluation of active resources experience, as well as the evaluation of site conditions, are presented in tables 1 – 3. The experience of the crane operator was evaluated on a two-point scale, as it was assumed that practical exercises during the specialized course

ry mostu. Przyjęty sposób montażu obejmuje: prace przygotowawcze, w tym m.in. przygotowanie placu montażowego i montaż dzioba montażowego/awanbeku, prace zasadnicze, w tym m.in.: montaż konstrukcji przęsłowej mostu składanego *(kpms)* oraz prace wykończeniowe (wyłączone z badań). Założono, że elementy montażowe mostu znajdują się w zasięgu żurawia i są dostępne bez opóźnień (nie występują przestoje związane z niedostarczeniem elementów na czas).

Badania chronometrażowe obejmowały następujące założenia i procesy podstawowe:

1) przygotowanie placu montażowego przez przeciętny zespół wykonawczy (tabela 1) w różnych warunkach lokalizacyjnych (dobrych, przeciętnych lub trudnych – tabela 3);

2) montaż konstrukcji dzioba montażowego przez przeciętny zespół wykonawczy (tabele 1 – 2), w przeciętnych warunkach lokalizacyjnych;

3) montaż 3-metrowego segmentu *ms* przez zespoły monterów z różnym doświadczeniem (zespół doświadczony, przeciętny i niedoświadczony – tabela 1) oraz operatorów żurawia z różnym doświadczeniem (operator doświadczony i przeciętny – tabela 2), w przeciętnych warunkach lokalizacyjnych;

4) demontaż 3-metrowego segmentu *ms* przez zespoły monterów z różnym doświadczeniem oraz operatorów żurawia z różnym doświadczeniem, w przeciętnych warunkach lokalizacyjnych.

Kryteria oceny i ocenę doświadczenia zasobów czynnych oraz ocenę warunków terenowych przedstawiono w tabelach 1 – 3. Doświadczenie operatora żurawia ocenione zostało w skali dwustopniowej, gdyż założono, że ćwiczenia praktyczne na specjalistycznym kursie uprawniającym do obsługi urządze-

Table 1. Assembly team experience – evaluation criterion and rating
Tabela 1. Doświadczenie zespołu montażowego – kryterium oceny i ocena

Evaluation criterion/Kryterium oceny	Rating/Ocena
The team has performed the task of building modular bridges at least five times/Zespół wykonywał zadanie budowy mostów z konstrukcji składanych, co najmniej pięć razy	experienced/doświadczony
The team has performed the task of building modular bridges at least twice and a maximum of four times/Zespół wykonywał zadanie budowy mostów z konstrukcji składanych, co najmniej dwa razy i maksymalnie cztery razy	intermediate/przeciętny
The team has performed the task of building modular bridges fewer than two times/Zespół wykonywał zadanie budowy mostów z konstrukcji składanych mniej niż dwa razy	inexperienced/niedoświadczony

Table 2. Crane operator experience – evaluation criterion and rating
Tabela 2. Doświadczenie operatora żurawia – kryterium oceny i ocena

Evaluation criterion/Kryterium oceny	Rating/Ocena
Has held an operator's license for at least a year and continuously performs tasks using a crane/Posiada uprawnienia operatora od minimum roku i stale wykonuje zadania z wykorzystaniem żurawia	experienced/doświadczony
Has held an operator's license for less than a year and periodically performs tasks using a crane/Posiada uprawnienia operatora krócej niż rok i okresowo wykonuje zadania z wykorzystaniem żurawia	intermediate/przeciętny

Table 3. Site conditions – evaluation criterion and rating
Tabela 3. Warunki lokalizacyjne – kryterium oceny i ocena

Evaluation criterion/Kryterium oceny	Rating/Ocena
Flat terrain, occasional unevenness (max. 0.2 m), average terrain slope up to 1%/Teren równinny, występują pojedyncze nierówności (max. 0,2 m), średnie pochylenie terenu do 1%	favorable/dobre
Flat terrain, occasional unevenness (max. 0.5 m), average terrain slope above 1% but below 3%/Teren równinny, występują pojedyncze nierówności (max. 0,5 m), średnie pochylenie terenu powyżej 1%, natomiast poniżej 3%	moderate/przeciętne
Undulating terrain, numerous instances of unevenness (of varying sizes, including above 0.5 m), average terrain slope equal to or greater than 3%/ Teren falisty, występują liczne nierówności (o zróżnicowanej wielkości, w tym powyżej 0,5 m), średnie pochylenie terenu równe lub większe niż 3%	adverse/trudne

granting the operator's license result in the trainee possessing basic proficiency in this regard.

Based on expert knowledge and the results of the questionnaire survey described in [5], it was determined that the terrain topography most significantly affects the preparation of the assembly site; therefore, in the conducted studies, site conditions were varied only in this process. The composition of the team executing the launching nose and the MBSS was adopted based on the current organizational structure developed in [5] and the established scope of tasks for the assembly team. The team consists of a team leader, two operators, and six assemblers, however, the team composition and scope of works related to the preparation of the assembly site are presented in table 4. The structure of the execution teams was selected precisely in order to avoid the underutilization of the working time of active resources [11]. The experience of the execution teams was varied, because, based on [5, 12] these personnel factors were identified as having a significant impact on the execution time of the investigated construction processes. The sequence of tasks in the individual work processes was established logically based on [10] and extensive personal practice in military bridge engineering. The parameters of the utilized engineering equipment were as follows: forklift – lifting capacity up to 5 t, lifting height up to 3.3 m; UMI 9.50 backhoe loader – bucket capacity 1 m^3, lifting capacity 2.4 t, lifting height 4.25 m; Jelcz 862 truck with a HIAB 855 EP-5 hydraulic crane – lifting capacity 18 t, outreach 14 m, lifting height 16.7 m.

nia wpływają na posiadanie podstawowej sprawności szkolonego w tym zakresie.

Na podstawie wiedzy eksperckiej i wyników badania ankietowego opisanych w [5] stwierdzono, że ukształtowanie terenu najbardziej wpływa na przygotowanie placu montażowego, dlatego też w przeprowadzonych badaniach warunki lokalizacyjne wariantowano jedynie w tym procesie. Skład zastępu wykonującego dziób montażowy oraz *kpms* został przyjęty na podstawie aktualnej i wypracowanej w [5] struktury organizacyjnej oraz ustalonego zakresu zadań zespołu montażowego. Zespół ten składa się z kierującego zespołem, dwóch operatorów oraz sześciu monterów, natomiast skład zespołu i zakres prac związanych z przygotowaniem placu montażowego przedstawiono w tabeli 4. Struktura zespołów wykonawczych została dobrana precyzyjnie, aby uniknąć niepełnego wykorzystania czasu pracy zasobów czynnych [11]. Wariantowano doświadczenie zespołów wykonawczych, gdyż na podstawie [5, 12] te czynniki osobowe zostały uznane za istotnie wpływające na czas wykonania badanych procesów budowlanych. Kolejność czynności w poszczególnych procesach roboczych ustalono logicznie na podstawie [10] oraz wieloletniej praktyki własnej w mostownictwie wojskowym. Parametry wykorzystanego sprzętu inżynieryjnego były następujące: wózek widłowy – udźwig do 5 t, wysokość podnoszenia do 3,3 m; koparko-ładowarka UMI 9.50 – pojemność łyżki roboczej 1 m^3, udźwig 2,4 t, wysokość podnoszenia 4,25 m; Jelcz 862 z żurawiem hydraulicznym HIAB 855 EP-5 – udźwig 18 t, wysięg 14 m, wysokość podnoszenia 16,7 m.

Table 4. Assembly team composition and scope of work of team members during the preparation of the assembly site
Tabela 4. Skład zespołu montażowego i zakres prac członków zespołu przy przygotowaniu placu montażowego

Number of people/ Liczba osób	Role/Stanowisko	Scope of work/Zakres prac
1	team leader/kierujący zespołem	slanning, organization, task assignment, performing geodetic surveying, supervision/ planowanie, organizacja, stawianie zadań, wykonywanie pomiarów geodezyjnych, kontrola
1	assembler/surveyor/monter/geodeta	performing geodetic surveying/wykonywanie pomiarów geodezyjnych
1	forklift/backhoe loader (UMI) operator/operator wózka widłowego/koparko-ładowarki (UMI)	machine operation, material feeding/obsługa maszyny, podawanie elementów
5	assembler/monter	performing earthworks, positioning supports, positioning site elements/wykonywanie prac ziemnych, ustawianie podkładów, ustawianie elementów placu

Research method

To develop updated and realistic time standards, an analytical-research method with time-and-motion study was applied [1, 13]. According to this method, the time-and-motion studies were divided into the following stages:

1) **preparation for the studies** – selection of processes, workstations, and dates for conducting the studies; division of processes into component elements and determination of influence factors; selection of the research method; determination of data necessary to calculate the rest allowance; design of time-and-motion study sheets;

2) **execution of measurements** – measurements of the execution times of the investigated assembly processes;

3) **analysis and processing of results** – verification of the correctness of the measurements performed and the quality of the influence factors; statistical analysis [1, 4].

Metoda badań

Do opracowania uaktualnionych i urealnionych norm czasu zastosowano metodę analityczno-badawczą z chronometrażem [1, 13]. Zgodnie z tą metodą badania chronometrażowe podzielono na następujące etapy:

1) **przygotowanie do badań** – wybór procesów, stanowisk roboczych oraz terminów prowadzenia badań; podział procesów na elementy składowe i ustalenie czynników wpływu; wybór metody badań; ustalenie danych niezbędnych do obliczenia dodatku na odpoczynek; zaprojektowanie arkuszy chronometrażowych;

2) **wykonanie pomiarów** – pomiar czasu wykonania badanych procesów montażowych;

3) **analiza i opracowanie wyników** – sprawdzenie poprawności wykonania pomiarów oraz jakości czynników wpływu; analiza statystyczna [1, 4].

In stage 1, conducting in situ studies was designed. The aim of the studies was to determine the time inputs for selected basic processes during MB construction. The scope of the research included determining the execution time of these processes under intermediate conditions, as well as under varying resource and site conditions. Appropriate workstations were selected for the studies. The experiment was conducted on the training ground of a military engineering unit, after obtaining the consent of the appropriate superiors – workers with appropriate qualifications were engaged, and the basic (simple) processes were divided into technological (component) tasks [14]. It was assumed that the execution time of a simple process is the sum of the execution times of the technological tasks lying on the longest path in the technological dependency network of the investigated process. The path's course takes into account the parallel execution of some technological tasks. In this stage, care was also taken regarding the organization of the measurement team, the development of time-and-motion study sheets (time-and-motion study descriptive card and time-and-motion study card), as well as equipment and recording devices: stopwatches, a video camera, and a tripod.

Based on [15] it was determined, using the compactness coefficient, that conducting seven measurements of the execution time of individual technological tasks would be sufficient for the studies. Before commencing the actual observation and time measurement, the execution team was familiarized with the purpose of the study, and the organization (table 4 and table 3 in [5]) and sequence of the works to be performed were clearly presented.

In stage 2, when determining the process execution time, intermediate conditions were primarily taken into account – the labor intensity of an ordinary worker, working under supervision at normal work intensity. In subsequent parts of the study, personnel factors were varied – the experience of the assembly teams and the crane operators, as well as the site conditions, in order to examine the impact of these factors on labor inputs. This stage of the experiment included the actual observation and measurement of the execution time of technological tasks. The measurement was performed using a stopwatch and a camera (auxiliary device), and the results were recorded on time-and-motion study sheets [16]. The studies were carried out in one location over a period of twenty working days, in April and May 2024, under precipitation-free conditions, with an average air temperature of approx. 18°C.

Stage 3 primarily involved determining the overall duration of the investigated basic processes, which is most often determined using the arithmetic mean (1) from the recorded time-and-motion series:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \quad (1)$$

where:
n – sample size;
x_i – feature variant.

In addition to calculating the arithmetic means of the duration of individual basic processes, the median, spread of results, standard deviation, and expected duration of basic

W etapie 1. zaprojektowano przeprowadzenie badań in situ. Celem badań było ustalenie nakładów czasowych na wybrane procesy podstawowe przy budowie *ms*. Zakres badań obejmował ustalenie czasu wykonania tych procesów w warunkach przeciętnych, jak również w zmiennych warunkach zasobowo-lokalizacyjnych. Do badań wybrano odpowiednie stanowiska pracy. Eksperyment prowadzono na terenie poligonu jednostki wojsk inżynieryjnych, po uzyskaniu zgody właściwych przełożonych. Zaangażowano pracowników o odpowiednich kwalifikacjach oraz podzielono procesy podstawowe (proste) na czynności technologiczne (składowe) [14]. Przyjęto, że czas wykonania procesu prostego jest sumą czasów wykonania czynności technologicznych, leżących na najdłuższej ścieżce w sieci zależności technologicznych badanego procesu. Przebieg ścieżki uwzględnia równoległe wykonywanie niektórych czynności technologicznych. W etapie tym zadbano również o organizację zespołu pomiarowego, opracowanie arkuszy chronometrażowych (karta opisowa chronometrażu i karta chronometrażu) oraz wyposażenie i urządzenia rejestrujące: stopery, kamera wideo i statyw.

Na podstawie [15] ustalono, z wykorzystaniem współczynnika zwartości, że wystarczające do badań będzie przeprowadzenie siedmiu pomiarów czasu wykonania poszczególnych czynności technologicznych. Przed przystąpieniem do właściwej obserwacji i pomiaru czasu zapoznano zespół wykonawców z celem badania oraz jasno przedstawiono organizację (tabela 4 oraz tabela 3 w [5]) i kolejność wykonywanych prac.

W etapie 2., ustalając czas wykonania procesów, w pierwszej kolejności wzięto pod uwagę warunki przeciętne – pracochłonność zwykłego pracownika, pracującego pod nadzorem przy normalnej intensywności pracy. W kolejnych częściach badania wariantowano czynniki osobowe – doświadczenie zespołów montażowych oraz operatorów żurawia, jak również warunków lokalizacyjnych, tak aby zbadać wpływ tych czynników na nakłady pracy. Ten etap eksperymentu zawierał właściwą obserwację i pomiar czasu wykonywania czynności technologicznych. Pomiaru dokonano za pomocą stopera oraz kamery (środek pomocniczy), a wyniki odnotowywano na arkuszach chronometrażowych [16]. Badania zrealizowano w jednej lokalizacji w okresie dwudziestu dni roboczych, w kwietniu i maju 2024 r., w warunkach bezopadowych, przy średniej temperaturze powietrza ok. 18°C.

Etap 3. obejmował przede wszystkim określenie ogólnego czasu trwania badanych procesów podstawowych, który określa się najczęściej za pomocą średniej arytmetycznej (1) z odnotowanego szeregu chronometrażowego:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i \quad (1)$$

gdzie:
n – liczebność próby;
x_i – wariant cechy.

Oprócz obliczenia średnich arytmetycznych czasu trwania poszczególnych procesów podstawowych obliczono medianę, rozrzut wyników, odchylenie standardowe i oczekiwany czas

processes $E[T_w]$ (2) (according to the BETA-PERT distribution) were calculated [4, 17, 18, 19]:

$$E[T_w] = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6} \quad (2)$$

where:
t_a – optimistic time;
t_m – most likely time ($t_a < t_m < t_b$);
t_b – pessimistic time.

Due to the small spread of results and the very similar values of arithmetic means and expected durations of basic processes, **the arithmetic means** were adopted as **the representative values**. Next, the research results were analyzed, and the time standards for the execution of individual work processes were calculated. The time standard N_c was determined as the sum of the working time (productive time E_t) and the auxiliary time E_u (figure 1). Conversely, downtime (time losses) was not taken into account – formula (3).

trwania procesów podstawowych $E[T_w]$ (2) wg rozkładu beta-pert [4, 17, 18, 19]:

$$E[T_w] = \frac{t_a + 4t_m + t_b}{6} \quad (2)$$

gdzie:
t_a – czas optymistyczny;
t_m – czas najbardziej prawdopodobny ($t_a < t_m < t_b$);
t_b – czas pesymistyczny.

Ze względu na niewielki rozrzut wyników i bardzo zbliżone wartości średnich arytmetycznych i oczekiwanych czasów trwania procesów podstawowych, za **wartości reprezentatywne** przyjęto **średnie arytmetyczne**. Następnie przeanalizowano wyniki badań i obliczono normy czasu na wykonanie poszczególnych procesów roboczych. Normę czasu N_c wyznaczono jako sumę czasu pracy (czasu produkcyjnego E_t) i czasu uzupełniającego E_u (rysunek 1). Nie uwzględniano natomiast przestojów (strat czasu) – wzór (3).

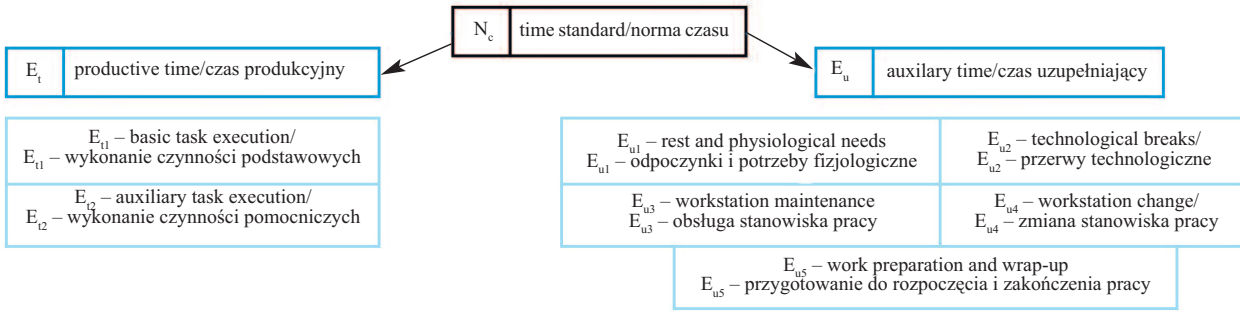

Fig. 1. Working time breakdown adopted in time-and-motion studies based on [1]
Rys. 1. Podział czasu pracy przyjęty w badaniach chronometrażowych na podstawie [1]

Time standards were calculated according to formula (3) [1, 4, 20, 21]. The time for breaks (rests) was adopted from the norms [1, 15] at a level of 2% of the total working time – assuming the 2nd category of fatigue and an accuracy of time-and-motion observations of 0.5 ÷ 1.0 min. Furthermore, the time for physiological needs was taken into account by adopting another 5% of the total working time [1]. In the analyzed processes, technological breaks and breaks related to a workstation change did not occur. Time elements of this type were not included in the measurement results. Should they occur, their magnitude must be estimated individually. The time norms for workstation maintenance and preparation and wrap-up works were adopted at levels of 2% and 4% of the working shift time, respectively [1]. In total, the auxiliary time norm was determined to be 13% of the total working time.

$$N_c = E_t + E_u = E_t \cdot \frac{100}{100 - e_u} = E_t \cdot \frac{100}{87} = 1{,}15 \cdot E_t \quad (3)$$

where:
N_c – time standard;
E_t – productive time;
E_u – auxiliary time;
e_u – auxiliary time norm.

Normy czasu kalkulowano wg wzoru (3) [1, 4, 20, 21]. Czas przerw (odpoczynków) przyjęto z normatywów [1, 15] na poziomie 2% całego czasu pracy, przy założeniu II kategorii zmęczenia oraz dokładności obserwacji chronometrażowych 0,5 ÷ 1,0 min. Ponadto uwzględniono czas na potrzeby fizjologiczne, przyjmując kolejne 5% całego czasu pracy [1]. W analizowanych procesach nie występowały przerwy technologiczne oraz przerwy związane ze zmianą stanowiska pracy. Elementy czasowe tego rodzaju nie zostały ujęte w wynikach pomiarów. W przypadku wystąpienia, ich wielkość należy szacować indywidualnie. Przyjęto normatywy czasu na obsługę stanowiska pracy i prace przygotowawczo-zakończeniowe odpowiednio na poziomach 2 i 4% czasu zmiany roboczej [1]. W sumie normatyw czasu uzupełniającego e_u określono jako 13% całego czasu pracy.

$$N_c = E_t + E_u = E_t \cdot \frac{100}{100 - e_u} = E_t \cdot \frac{100}{87} = 1{,}15 \cdot E_t \quad (3)$$

gdzie:
N_c – norma czasu;
E_t – czas produkcyjny;
E_u – czas uzupełniający;
e_u – normatyw czasu uzupełniającego.

Results and discussion of the research

During the in situ studies, **four selected basic processes** occurring during MB construction were considered. The preparation of the assembly site was executed in three variants, under variable site conditions, which generated 21 observations (3 situations, each with seven observations). The assembly of the launching nose structure was conducted under intermediate site conditions and utilizing an intermediate execution team – results from seven observations were recorded. The assembly of a 3-meter MB segment was executed in six different variants, resulting in 42 observations (126 m of span structure was assembled). The disassembly of a 3-meter MB segment was carried out under conditions analogous to the assembly – 42 observations (126 m of structure was disassembled).

To conduct the time-and-motion studies within the assumed timeframe, the preparation of assembly sites along with the other basic processes was carried out in parallel. A summary of the working time measurement results for the selected four processes under the assumed organizational conditions is presented in table 5. It shows the average duration of the processes depending on the organizational variant. Processes executed under intermediate conditions, in which time standards were subsequently determined, are highlighted in light gray.

Wyniki i omówienie badań

Podczas badań in situ rozpatrywano wybrane **cztery procesy podstawowe** występujące podczas budowy *ms*. Przygotowanie placu montażowego realizowane było w trzech wariantach, przy zmiennych warunkach lokalizacyjnych, co wygenerowało 21 obserwacji (3 sytuacje, każda z siedmioma obserwacjami). Montaż konstrukcji awanbeku przeprowadzono w przeciętnych warunkach lokalizacyjnych i przy wykorzystaniu przeciętnego zespołu wykonawczego – zanotowano wyniki z siedmiu obserwacji. Montaż 3-metrowego segmentu *ms* zrealizowano w sześciu różnych wariantach, co dało 42 obserwacje (zmontowano 126 m konstrukcji przęsłowej). Demontaż 3-metrowego segmentu *ms* realizowano w warunkach analogicznych do montażu – 42 obserwacje (zdemontowano 126 m konstrukcji).

W celu przeprowadzenia badań chronometrażowych w założonym terminie równolegle realizowano przygotowanie placów montażowych z pozostałymi procesami podstawowymi. Wyniki pomiarów czasu pracy, wybranych czterech procesów w założonych warunkach organizacyjnych, zawiera tabela 5. Przedstawiono w niej średni czas trwania procesów w zależności od wariantu organizacyjnego. Kolorem jasnoszarym zaznaczono procesy realizowane w warunkach przeciętnych, w których następnie określano normy czasu.

Table 5. Time-and-motion study results for the investigated basic processes depending on the assumed organizational condition variants
Tabela 5. Wyniki chronometrażu badanych procesów podstawowych w zależności od założonych wariantów warunków organizacyjnych

Wariant/ Variant	Basic process/Proces podstawowy	Execution team/Zespół wykonawczy					Site conditions/ Warunki lokalizacyjne			Average duration/ Średni czas trwania	
		assembly team/ zespół monterów			crane operator/ operator żurawia						
		D	P	ND	D	P	DB	P	T	$\bar{X}$ [min]	hh:mm:ss/ godz:min:s
1	assembly site preparation/ przygotowanie placu montażowego		X				X			146,45	02:26:27
2			X					X		**176,50**	**02:56:30**
3			X						X	200,55	03:20:33
4	sssembly of the launching nose structure/montaż konstrukcji dzioba montażowego		X					X		**186,00**	**03:06:00**
5	assembly of a 3-meter MB segment/ montaż 3-metrowego segmentu *ms*		X			X		X		**44,82**	**00:44:49**
6			X		X			X		35,27	00:35:19
7				X	X			X		39,12	00:39:07
8				X		X		X		57,22	00:57:13
9		X				X		X		39,03	00:39:02
10		X			X			X		24,98	00:24:59
11	disassembly of a 3-meter MB segment/ demontaż 3-metrowego segmentu *ms*		X			X		X		**36,87**	**00:36:52**
12			X		X			X		28,40	00:28:24
13				X	X			X		32,02	00:32:01
14				X		X		X		47,53	00:47:32
15		X				X		X		32,30	00:32:18
16		X			X			X		24,77	00:24:46

Legend: E – experienced, I – intermediate, IE – inexperienced, F – favorable, A – adverse, M – moderate, MB – modular bridge

Legenda: D – doświadczony, P – przeciętny, ND – niedoświadczony, DB – dobre, T – trudne

Time standards were calculated using formula (3) for the following measurement units: assembly site (30 m long), launching nose (15 m long), 3-meter MB segment. Time standards were determined for basic processes executed under intermediate organizational conditions. The results are presented in table 6. The time standards developed based on the time-and-motion studies (table 7) differ from those available in the literature [7, 22].

Normy czasu skalkulowano wg wzoru (3) na następujące jednostki obmiarowe: plac montażowy (długości 30 m); dziób montażowy (długości 15 m); 3-metrowy segment *ms*. Normy dotyczyły procesów podstawowych realizowanych w przeciętnych warunkach organizacyjnych. Wyniki przedstawiono w tabeli 6. Opracowane na podstawie badań chronometrażowych normy czasu (tabela 7) różnią się od dostępnych w literaturze [7, 22].

Table 6. Time standards for basic processes executed under intermediate organizational conditions per assumed units of measurement
Tabela 6. Normy czasu procesów podstawowych realizowanych w przeciętnych warunkach organizacyjnych na założone jednostki obmiarowe

Variant/ Wariant	Basic process along with the unit of measurement/ Proces podstawowy wraz z jednostką obmiarową	Average duration/ Średni czas trwania		Active resources/Zasoby czynne	Time standard N_c [m-h, mh]/ Norma czasu N_c r-g, m-g
		$\bar{X}$ [min]	hh:mm:ss/ godz:min:s		
2	assembly site preparation (30 m long)/ przygotowanie placu montażowego długości 30 m	176,50	02:56:30	7 workers/7 pracowników	23,68
				1 forklift/UMI*/1 wózek widł./UMI*	3,38
4	assembly of the launching nose structure (15 m long)/ montaż konstrukcji dzioba montażowego długości 15 m	186,00	03:06:00	7 workers/7 pracowników	24,96
				1 forklift/UMI*/1 wózek widł./UMI*	3,57
				1 crane/1 żuraw	3,57
5	assembly of a 3-meter MB segment/ montaż 3-metrowego segmentu *ms*	44,82	00:44:49	7 workers/7 pracowników	6,01
				1 forklift/UMI*/1 wózek widł./UMI*	0,86
				1 crane/1 żuraw	0,86
11	disassembly of a 3-meter MB segment/ demontaż 3-metrowego segmentu *ms*	36,87	00:36:52	7 workers/7 pracowników	4,95
				1 forklift/UMI*/1 wózek widł./UMI*	0,71
				1 crane/1 żuraw	0,71

*UMI – Universal Engineering Machine (backhoe loader)/Uniwersalna Maszyna Inżynieryjna (koparko-ładowarka)

Table 7. Time standards for the execution of basic processes during MB construction based on literature and time-and-motion studies
Tabela 7. Normy czasu realizacji procesów podstawowych przy budowie ms na podstawie literatury oraz badań chronometrażowych

Source/Basic process Źródło/Proces podstawowy	"Collection of training standards for engineering sub-units" [22]/ „Zbiór norm szkoleniowych dla pododdziałów inżynieryjnych" [22]	"Engineering of road infrastructure operation in emergency situations" [7]/ „Inżynieria eksploatacji infrastruktury drogowej w sytuacjach kryzysowych" [7]	Time-and--motion studies/ Badania chrono-metrażowe	Labor input/Nakłady pracy
	time standards [m-h, mh]/normy czasu [r-g; m-g]			
Assembly site preparation (30 m long)/Przygotowanie placu montażowego (długości 30 m)	46,88	36	23,68	workers/pracownicy
	–	4[2)]	–	crane/żuraw
	5	–	3,38	forklift/UMI/wózek widłowy/UMI
	–	2	–	AT truck/samochód c-t
Assembly of the launching nose structure (15 m long)/ Montaż konstrukcji dzioba montażowego (długości 15 m)	20,83	16,5	24,96	workers/pracownicy
	2,08[1)]	1,5[2)]	3,57[1)]	crane/żuraw
	–	–	3,57	forklift/UMI/wózek widłowy/UMI
Assembly of a 3-meter MB segment/ Montaż 3-metrowego segmentu *ms*	6,83	6,33	6,01	workers/pracownicy
	0,68[1)]	2[2)]	0,86[1)]	crane/żuraw
	0,68	–	0,86	forklift/UMI/wózek widłowy/UMI
	–	5,13	–	AT truck/samochód c-t
Disassembly of a 3-meter MB segment/Demontaż 3-metrowego segmentu *ms*	–	–	4,95	workers/pracownicy
	–	–	0,71[1)]	crane/żuraw
	–	–	0,71	forklift/UMI/wózek widłowy/UMI

* AT truck – all-terrain truck/samochód c-t – samochód ciężarowo-terenowy; [1)] 18t mobile crane/żuraw samochodowy 18 t; [2)] 16t mobile crane/żuraw samochodowy 16 t

The data presented in the indicated literature sources were developed using the summary estimation method, which is the fastest and most inexpensive to apply, whereas the newly developed standards applied the analytical-research method utilizing time-and-motion studies. This method is more precise, but it is associated with higher costs and labor inputs [1]. The impact of selected execution-related factors on the execution time of a given work process, is presented in figure 2. The chart presents the relative change in the execution time of basic processes under various organizational condition variants. When preparing the assembly site, favorable terrain conditions will accelerate the execution of this task by about 17%, while adverse terrain will extend the execution time by about 14%. The assumption adopted for the studies was that site conditions, in the basic MB assembly method, have the greatest impact on the preparation of the assembly track (which is confirmed by the expert interview [5]), therefore their impact on other processes was not investigated. Based on the conducted research, it has been established that **the precise positioning of the roller system, on which the launching nose and the span structure are subsequently assembled, limits the impact of terrain conditions on the execution of construction processes related to the MBSS assembly**.

The assembly time of the launching nose structure 15 m long was measured under intermediate organizational conditions. Seven observations were conducted without varianting, and the statistically processed measurement results were recognized as the unit execution standard for the process (24.96 m-h, and 3.57 mh each for the forklift/backhoe loader and the crane). Figure 2 also illustrates the impact of personnel factors, in various variants, on the assembly (variants 5 ÷ 10) and disassembly (variants 11 ÷ 16) of the MB span structure. A very similar percentage extension or reduction in process execution time is noticeable – numbered 5 ÷ 10 and 11 ÷ 16. The processes of assembly and disassembly of the MB span structure consist

Dane prezentowane we wskazanych źródłach literatury opracowano szacunkową metodą sumaryczną, która jest najszybsza i niedroga w zastosowaniu, natomiast w nowo opracowanych normach zastosowano metodę analityczno-badawczą z wykorzystaniem chronometrażu. Metoda ta jest precyzyjniejsza, ale wiąże się z wyższymi kosztami i nakładami pracy [1]. Wpływ wybranych czynników realizacyjnych na czas wykonania danego procesu roboczego przedstawiono na rysunku 2. Prezentuje on względną zmianę czasu realizacji procesów podstawowych w różnych wariantach warunków organizacyjnych. Przy przygotowaniu placu montażowego dobre warunki terenowe przyspieszą wykonanie tego zadania o ok. 17%, natomiast trudny teren wydłuży czas realizacji o ok. 14%. Do badań przyjęto założenie, że warunki lokalizacyjne, w zasadniczym sposobie montażu *ms*, mają największy wpływ na przygotowanie toru montażowego (co potwierdza wywiad ekspercki [5]), dlatego nie badano ich wpływu na inne procesy. Na podstawie przeprowadzonych badań przyjęto, że **precyzyjne ustawienie układu rolek, na których następnie montowany jest dziób i konstrukcja przęsłowa, ogranicza wpływ warunków terenowych na realizację procesów budowlanych związanych z montażem *kpms***.

Czas montażu konstrukcji awanbeku długości 15 m mierzono w przeciętnych warunkach organizacyjnych. Przeprowadzono 7 obserwacji, bez wariantowania, a opracowane statystycznie wyniki pomiarów uznano za normę jednostkową wykonania procesu (24,96 r-g oraz po 3,47 m-g w przypadku wózka widłowego/koparko-ładowarki i żurawia). Na rysunku 2 przedstawiono również wpływ czynników osobowych, w różnych wariantach na montaż (warianty 5 ÷ 10) i demontaż (warianty 11 ÷ 16) *kpms*. Zauważalne jest bardzo podobne procentowe wydłużenie bądź skrócenie czasu wykonania procesów oznaczonych numerami 5 ÷ 10 oraz 11 ÷ 16. Procesy montażu i demontażu *kpms* składają się z takich samych

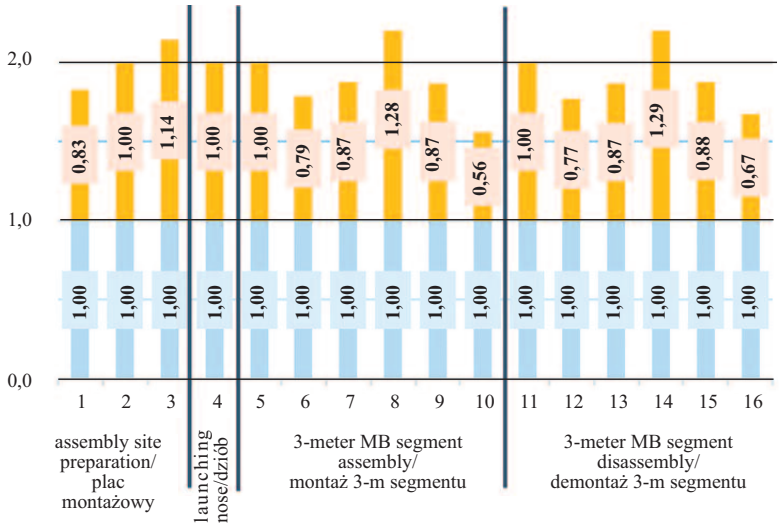

Fig. 2. Relative change in execution time of basic processes under different organizational condition variants (numbering consistent with Table 5)

Rys. 2. Względna zmiana czasu realizacji procesów podstawowych w różnych wariantach warunków organizacyjnych (numeracja zgodna z tabelą 5)

of the same technological tasks executed in reverse order, hence the observed correlation of results confirms the correctness of the in situ studies' assumptions and the high repeatability of the obtained results, which present themselves as follows:

a) organizational variants 5 and 11 concern processes executed with the participation of an intermediate execution team; the times measured under these conditions were recognized as the standards for the assembly and disassembly of the MBSS;

b) in cases 6 and 12, the processes were executed by intermediate assembly teams and an experienced crane operator; in these studies, a reduction in the assembly and disassembly time of MB segments by approximately 21% and 23% of the intermediate time, respectively, was observed, which indicates a significant impact of the crane operator's experience on the execution time of the investigated work processes;

c) in variants 7 and 13 (inexperienced team, experienced operator) and 9 and 15 (experienced team, intermediate operator), the reduction in assembly and disassembly times was at the level of 12 ÷ 13%, which additionally confirm the conclusions from point b);

d) the most adverse were variants 8 and 14 (inexperienced team, intermediate operator), in which a time extension of approximately 28 ÷ 29% was observed, which was interpreted as the combined negative impact of a lower level of experience of the assembly team and the crane operator;

e) the most favorable were variants 10 and 16 (experienced team, experienced operator), in which case during the assembly of a 3-meter MB segment, the observed process execution time was reduced by approximately 44%, while during disassembly, the reduction amounted to 33% of the intermediate time. The significant, relative reduction in assembly/disassembly time, corresponding with the increased experience of the executors, was interpreted as a key argument confirming the significance of these factors in terms of the real possibilities of streamlining assembly works. Based on our own observations and measurements of the execution time reductions, it was concluded that the acceleration of assembly works was the result of the proficiency and specialization of the assemblers and the crane operator, as well as the cohesion and organizational maturity of the work executors.

Verification of the theoretical model against the time-and-motion study results

In paper [5] an attempt was made to account for the influence of execution-related factors on the execution time of work processes during MB construction. A theoretical model of the execution time of assembly processes was built, taking into account the impact variables of execution-related factors (4) [5]:

$$T_w^r = \frac{D \cdot L}{\omega \cdot n} = D \cdot \bar{T}_w \quad (4)$$

where:

T_w^r – actual execution time of the construction process;
D – variable determining the cumulative impact of execution-related factors;
L – quantity survey (scope of work);
ω – contractor's efficiency,
n – number of contractors (brigades/teams/equipment units);
$\bar{T}_w$ – average construction process execution time (excluding the impact of execution-related factors).

czynności technologicznych, wykonywanych w odwrotnej kolejności, dlatego też obserwowana korelacja wyników potwierdza poprawność założeń wykonanych badań in situ oraz dużą powtarzalność uzyskanych rezultatów, które przedstawiają się następująco:

a) warianty organizacyjne 5 i 11 dotyczą procesów wykonywanych przy udziale przeciętnego zespołu wykonawczego; czasy pomierzone w tych warunkach uznano za normy montażu i demontażu *kpms*;

b) w przypadku wariantów 6 i 12 procesy wykonywały przeciętne zespoły montażowe oraz doświadczony operator żurawia. W tych badaniach zaobserwowano skrócenie czasu montażu i demontażu segmentów *ms* odpowiednio o ok. 21 i 23% czasu przeciętnego, co wskazuje na istotny wpływ doświadczenia operatora żurawia na czas wykonania badanych procesów pracy;

c) w wariantach 7 i 13 (niedoświadczony zespół, doświadczony operator) oraz 9 i 15 (doświadczony zespół, przeciętny operator) skrócenie czasu montażu i demontażu było na poziomie 12 ÷ 13%, co dodatkowo potwierdza wnioski z pkt b);

d) najbardziej niekorzystne były warianty 8 i 14 (niedoświadczony zespół, przeciętny operator), w których zaobserwowano wydłużenie czasu o ok. 28 ÷ 29%, co zinterpretowano jako łączny, negatywny wpływ niższego poziomu doświadczenia zespołu montażowego i operatora żurawia;

e) najkorzystniejsze były warianty 10 i 16 (doświadczony zespół, doświadczony operator), w przypadku których przy montażu 3-metrowego segmentu *ms* zaobserwowany czas wykonania procesu uległ skróceniu o ok. 44%, natomiast przy demontażu o 33% czasu przeciętnego. Znaczne, względne skrócenie czasu montażu/demontażu, przy dużym doświadczeniu wykonawców, zinterpretowano jako kluczowy argument potwierdzający istotność tych czynników w aspekcie realnych możliwości usprawnienia robót montażowych. Na podstawie obserwacji własnych i pomiarów skrócenia czasów wykonania stwierdzono, że przyspieszenie prac montażowych było efektem wprawy i specjalizacji monterów oraz operatora żurawia, a także zgrania i dojrzałości organizacyjnej wykonawców prac.

Sprawdzenie modelu teoretycznego z wynikami badań chronometrażowych

W artykule [5] podjęto się uwzględnienia wpływu czynników realizacyjnych na czas wykonania procesów roboczych przy budowie *ms*. Zbudowano model teoretyczny czasu wykonania procesów montażowych z uwzględnieniem zmiennych wpływu czynników realizacyjnych (4) [5]:

$$T_w^r = \frac{D \cdot L}{\omega \cdot n} = D \cdot \bar{T}_w \quad (4)$$

gdzie:

T_w^r – rzeczywisty czas wykonania procesu budowlanego;
D – zmienna określająca łączny wpływ czynników realizacyjnych;
L – przedmiar robót;
ω – wydajność wykonawcy,
n – liczba wykonawców (brygad/zastępów/jednostek sprzętu);
$\bar{T}_w$ – przeciętny czas realizacji procesu budowlanego (bez uwzględnienia zmiennych wpływu czynników realizacyjnych).

Variable D determining the cumulative impact of execution-related factors q, occurring at a given moment, was defined as the product of the variables of individual factors D_q (i.e., $D = \prod_{q=1}^{m} D_q$) [5]. In the organizational variants analyzed during the time-and-motion studies, **three execution-related factors** were examined, i.e., 1 **the experience of the assembly teams**; 2 **the experience of the crane operators** and 3 **the site conditions**. The assembly and disassembly processes of the MB span structure were executed in different factor variants, however, the site conditions in these processes were intermediate (and unchanging); therefore, the value of the D_q variable for this condition in all cases was 1.0 [5]. The justification for including the formally constant site conditions in the time-and-motion measurements was the necessity of realistically selecting and establishing a specific location for conducting the studies and measurements. Existing principles of technical work standardization specify that the labor standard should be determined under intermediate organizational and technical conditions. Figure 3 presents the values of variables D, determining the cumulative impact of execution-related factors on the assembly and disassembly processes of a 3-meter MB segment, depending on the considered organizational variants (variants according to table 5).

On the radially distributed axes, the values of the intermediate execution time of the MB span structure assembly and disassembly, unburdened by the influence of factors (in blue – values equal to 1.0), are placed, along with the values variable D obtained in the in situ studies (in fig. 3a and b) and

Zmienna D określająca łączny wpływ czynników realizacyjnych q, występujących w danej chwili, została określona jako iloczyn zmiennych poszczególnych czynników D_q (tzn. $D = \prod_{q=1}^{m} D_q$) [5]. W rozpatrywanych podczas badań chronometrażowych wariantach organizacyjnych analizowano **trzy czynniki realizacyjne**, tj. 1 **doświadczenie zespołów monterów**; 2 **doświadczenie operatorów żurawia** oraz 3 **warunki lokalizacyjne**. Procesy montażu i demontażu *kpms* realizowano w różnych wariantach czynników, z tym że warunki lokalizacyjne w tych procesach były przeciętne (i niezmienne), stąd wartość zmiennej D_q tego uwarunkowania we wszystkich przypadkach wynosiła 1,0 [5]. Uzasadnieniem uwzględnienia, formalnie stałych, uwarunkowań lokalizacyjnych w pomiarach chronometrażowych była konieczność realnego wyboru i ustalenia konkretnego miejsca prowadzenia badań i pomiarów. Istniejące zasady normowania technicznego określają, iż norma pracy powinna być określona w przeciętnych warunkach organizacyjno-technicznych. Na rysunku 3 zaprezentowano wartości zmiennych D, określające łączny wpływ czynników realizacyjnych na procesy montażu i demontażu 3-metrowego segmentu *ms* w zależności od rozpatrywanych wariantów organizacyjnych (warianty wg tabeli 5).

Na promieniście rozłożonych osiach umieszczono wartości przeciętnego czasu montażu i demontażu *kpms*, nieobciążonego wpływem czynników (kolorem niebieskim – wartości równe 1,0) oraz wartości zmiennych D uzyskane w badaniach in situ (rysunek 3a i b), a także obliczone na podstawie mo-

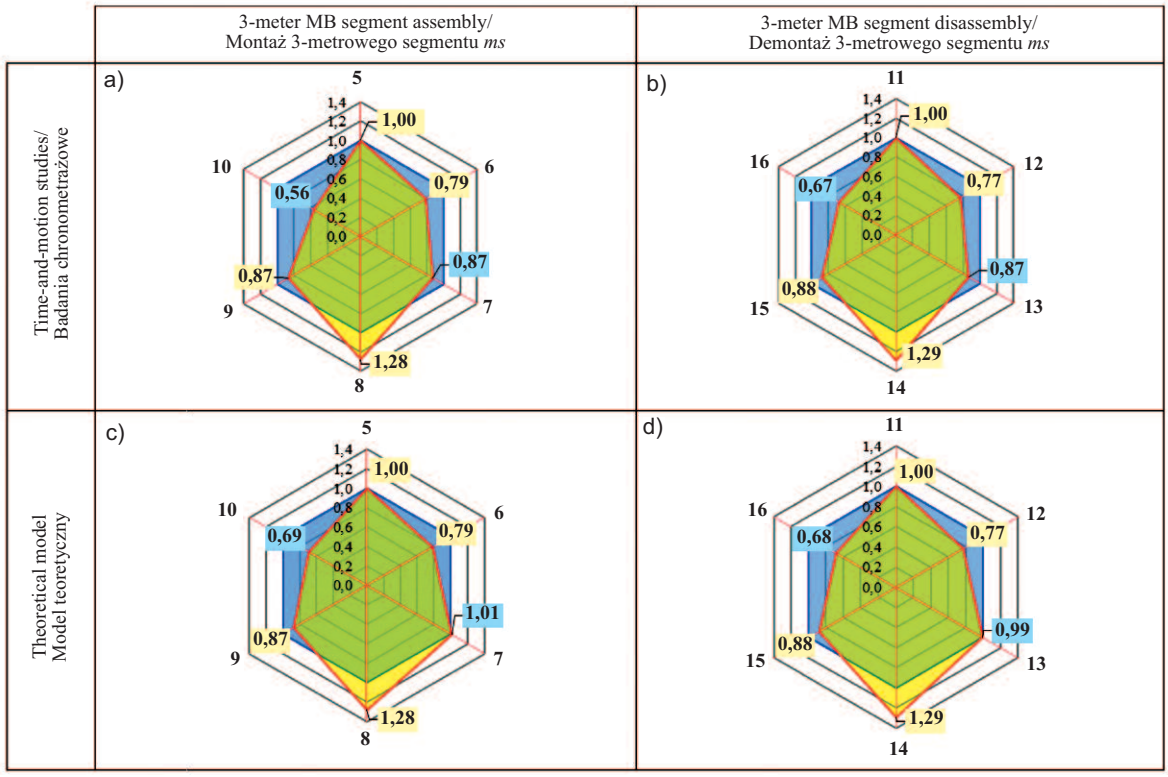

Fig. 3. The values of variables D (yellow polygon with a red edge) determined based on the time-and-motion studies (a,b) and the theoretical model (c,d), variable D represents the cumulative impact execution-related factors occurring in the selected variant on the assembly and disassembly processes of a 3-meter MB segment

Rys. 3. Wartości zmiennej D (żółty wielobok z czerwoną krawędzią) określone na podstawie badań chronometrażowych (a, b) oraz na podstawie modelu teoretycznego (c, d)), zmienna D określa łączny wpływ zaistniałych w danym wariancie czynników realizacyjnych na czas montażu i demontażu 3-metrowego segmentu ms

calculated based on the theoretical model (in fig. 3c and d), representing the relative reduction/extension of task execution time resulting from the impact of the considered set of factors (yellow polygon with a red edge). The green polygon results from the superimposition of the yellow and blue polygons (transparency parameter non-zero).

With few exceptions, a consistency was observed between the theoretical model's estimates and the values of the relative reduction/extension of the process execution time obtained from the measurements. The results are consistent in eight out of twelve compared pairs of variants (model–measurements). Differences occur in cases numbered 7, 10, 13, and 16. In organizational variants 7 and 13 (inexperienced assembly team, experienced crane operator), the theoretical approach shows that the process execution time remains practically unchanged (differences on the order of ±1% to the intermediate time), whereas under the same conditions in the time-and-motion studies, a 13% reduction in the assembly and disassembly time of the MBSS was recorded. When factors that extend and reduce the work process execution time occur simultaneously (e.g., inexperienced assembly team, experienced crane operator), the theoretical model reduces the opposing effects of these factors. The measurement results in cases 7 and 13 suggest a compensation for the impact of the inexperienced assembly team's actions by the experienced crane operator, to a higher degree than assumed by the theoretical model. The experienced operator and his skills enable the smooth (earlier) commencement of assembly tasks by the assemblers, concurrently reducing the time required for the tasks executed by the crane.

Comparing the values of variable D (the cumulative impact of execution-related factors) obtained from the time-and-motion studies with the values calculated based on the theoretical model, it was found that the theoretical model underestimates the positive impact of personnel factors on reducing the assembly and disassembly time of the MBSS. In variant 10 (experienced assembly team, experienced crane operator), it was established, according to the theoretical model, a reduction in the MB segment assembly time, down to 69% of the intermediate time, and based on the field studies, the time reduction was established at 56% of the intermediate time. The measurement results in case 10 indicate a greater impact of the cooperation between an experienced assembly team and an experienced crane operator than in the case of the theoretical model, which is interpreted as a synergistic effect. An analogous effect was not observed during disassembly, i.e., in case 16. Comparing the influences of factors on the process execution time estimated using the theoretical model with the influences determined based on measurements, a more cautious (more restrictive) method of estimating the potential reduction in assembly execution time using the theoretical model was found.

Proposal of updated time standards

A summary of the time-and-motion studies results, along with the determination of time standards for the basic processes and the impact of selected execution-related factors on these standards, are presented in tables 8 ÷ 11.

delu teoretycznego (rysunek 3c i d), reprezentujące względne skrócenie/wydłużenie czasu wykonania czynności w wyniku oddziaływania rozpatrywanego zestawu czynników (wielobok żółty z czerwoną krawędzią). Wielobok zielony wynika z nałożenia na siebie wielokątów żółtego i niebieskiego (parametr przezroczystości różny od zera).

Zauważono, z nielicznymi wyjątkami, zgodność oszacowań wynikających z modelu teoretycznego oraz uzyskanych w wyniku pomiarów wielkości względnego skrócenia/wydłużenia czasu realizacji procesów. Wyniki są zgodne w ośmiu na dwanaście porównań par wariantów (model–pomiary). Różnice występują w przypadkach o numerach 7, 10, 13 i 16. W wariantach organizacyjnych 7 i 13 (niedoświadczony zespół monterów, doświadczony operator żurawia), w modelowym podejściu, czas wykonania procesów praktycznie nie ulega zmianie (różnice rzędu ±1% do czasu przeciętnego), natomiast w tych samych warunkach w badaniach chronometrażowych odnotowano skrócenie czasu montażu i demontażu *kpms* o 13%. W przypadku, gdy występują jednocześnie czynniki wydłużający i skracający czas wykonania procesu roboczego (np. niedoświadczony zespół monterów, doświadczony operator żurawia), model teoretyczny redukuje przeciwne oddziaływanie tych czynników. Wyniki pomiarów w przypadkach 7 i 13 sugerują kompensację wpływu działań niedoświadczonego zespołu monterów przez doświadczonego operatora żurawia, w wyższym stopniu, niż zakłada to model teoretyczny. Doświadczony operator i jego umiejętności umożliwiają sprawne (wcześniejsze) przystępowanie do czynności montażowych przez monterów, równocześnie ze skracaniem czasu wykonania czynności przez żuraw.

Porównując wartości zmiennej D łącznego wpływu czynników realizacyjnych, otrzymane na podstawie badań chronometrażowych z wartościami obliczonymi na podstawie modelu teoretycznego, stwierdzono niedoszacowanie przez model teoretyczny pozytywnego oddziaływania czynników osobowych na skrócenie czasu montażu i demontażu *kpms*. W wariancie 10 (doświadczony zespół monterów, doświadczony operator żurawia) ustalono, wg modelu teoretycznego, skrócenie czasu montażu segmentu *ms* do 69% czasu przeciętnego, a na podstawie badań poligonowych skrócenie do wartości 56% czasu przeciętnego. Wyniki pomiarów w przypadku 10 wskazują na większy niż w przypadku modelu teoretycznego wpływ współpracy doświadczonego zespołu monterów oraz doświadczonego operatora żurawia, interpretowany jako efekt o charakterze synergii. Analogicznego efektu nie zaobserwowano przy demontażu, tj. w przypadku 16. Porównując wpływy czynników na czas realizacji procesów, szacowane z użyciem modelu teoretycznego, z wpływami określonymi na podstawie pomiarów, stwierdzono ostrożniejszy (bardziej restrykcyjny) sposób szacowania ewentualnego skrócenia czasu realizacji montażu za pomocą modelu teoretycznego.

Propozycja uaktualnionych norm czasu

Podsumowanie wyników badań chronometrażowych oraz określenie norm czasu wykonania procesów podstawowych i wpływu wybranych czynników realizacyjnych na te normy przedstawiono w tabelach 8 ÷ 11.

Table 8. Labor input for the preparation of the assembly site (30 m long)
Tabela 8. Nakłady na przygotowanie placu montażowego długości 30 m

Lp.	Specification/Wyszczególnienie		Units of measurement /Jednostki miary, oznaczenia		Execution (intermediate conditions)/Wykonanie (warunki przeciętne)	Site conditions/Warunki lokalizacyjne	
	ETO symbols/ symbole eto	workers, types of materials and equipment/ robotnicy, rodzaje materiałów i sprzętu	numerical/ cyfrowe	alphabetical/ literowe		F/DB	A/T
						standard adjustment factor/ współczynnik zmiany normy	
a	b	c	d	e	01	02 0,83	03 1,14
01	391	workers/robotnicy	149	m-h/r-g	23,68	19,65	27,00
20	9886741	wooden assembly supports/stosy montażowe z drewna	020	pcs/szt.	30		
21	9886641	assembly rollers/rolki montażowe	020	pcs/szt.	10		
70	39511	forklift/wózek jezdniowy podnośnikowy	148	mb/m-g	3,38		

Breakdown of works:/Wyszczególnienie robót: 1. geodetic surveying/1. pomiary geodezyjne; 2. leveling the terrain for supports/2. wyrównanie terenu pod stosy; 3. positioning the supports/3. ułożenie stosów; 4. positioning the assembly rollers/4. ułożenie rolek montażowych
Legend:/Oznaczenia: F – favorable/DB – dobre, A – adverse/T – trudne

Table 9. Labor input for the assembly of 1 launching nose (15 m long)
Tabela 9. Nakłady na montaż jednego dzioba montażowego długości 15 m

Lp.	Specification/Wyszczególnienie		Units of measurement /Jednostki miary, oznaczenia		Execution (intermediate conditions)/ Wykonanie (warunki przeciętne)
	ETO symbols/ symbole eto	workers, types of materials and equipment/robotnicy, rodzaje materiałów i sprzętu	numerical/ cyfrowe	alphabetical/ literowe	
a	b	c	d	e	01
01	391	workers/robotnicy	149	r-g	24,96
20	–	bridge span structure/konstrukcja przęsłowa mostu	–	kpl.	1
70	31200	mobile crane/żuraw samochodowy	148	m-g	3,57
71	39511	forklift/wózek jezdniowy podnośnikowy	148	m-g	3,57

Breakdown of works:/Wyszczególnienie robót: 1. feeding and assembly of spatial truss parts/1. podanie i montaż części kratownic przestrzennych; 2. feeding and assembly of cross-beam parts/2. podanie i montaż części belek poprzecznych; 3. assembly of wind bracing to the beams/3. montaż wiatrownic do belek; 4. stacking of spatial trusses and feeding/4. piętrowanie kratownic przestrzennych i podanie; 5. feeding and assembly of cross-beam parts/5. podanie i montaż części belek poprzecznych; 6. assembly of wind bracing to the beams/6. montaż wiatrownic do belek; 7. feeding and assembly of remaining spatial trusses/7. podanie i montaż pozostałych kratownic przestrzennych; 8. feeding and assembly of remaining cross-beams/8. podanie i montaż pozostałych belek poprzecznych; 9. assembly of wind bracing to the beams/9. montaż wiatrownic do belek; 10. feeding and assembly of nose struts/10. podanie i montaż zastrzałów dzioba; 11. lifting of the nose and assembly of inserts/11. podniesienie dzioba i montaż wstawek

Table 10. Labor input for the execution of 1 segment of the DMS-65 span structure using individual elements
Tabela 10. Nakłady na wykonanie jednego segmentu konstrukcji przęsłowej DMS-65 z pojedynczych elementów

Lp.	Specification/Wyszczególnienie		Units of measurement /Jednostki miary, oznaczenia		Execution (intermediate conditions)/ Wykonanie (warunki prze-ciętne)	Assembly team		Crane operator
						D	ND	D
	ETO symbols/ symbole eto	workers, types of materials and equipment/ robotnicy, rodzaje materiałów i sprzętu	numerical/ cyfrowe	alphabetical/ literowe		standard adjustment factor/ współczynnik zmiany normy		
a	b	c	d	e	01	02 0,87	03 1,28	04 0,79
01	391	workers/robotnicy	149	m-h/r-g	6,01	5,23	7,69	4,75
20	–	bridge span structure/konstrukcja przęsłowa mostu	–	set/kpl.	1			
70	31200	mobile crane/żuraw samochodowy	148	mb/m-g	0,86			
71	39511	forklift/wózek jezdniowy podnośnikowy	148	mb/m-g	0,86			

Breakdown of works:/Wyszczególnienie robót: 1. feeding and assembly of spatial trusses/1. podanie kratownic przestrzennych i montaż; 2. feeding and assembly of cross--beams/2. podanie belek poprzecznych i ich montaż; 3. assembly of wind bracing to the beams/3. montaż wiatrownic do belek; 4. feeding and assembly of flat trusses/4. podanie i montaż kratownic płaskich; 5. assembly of stiffeners/5. montaż tężników; 6. feeding and positioning of deck plates/6. podanie i ułożenie płyt jezdni; 7. assembly of curbs/7. montaż krawężników. Legend:/Oznaczenia: E – experienced/D – doświadczony, IE – inexperienced/ND – niedoświadczony

Table 11. Labor input for the disassembly of 1 segment of the DMS-65 span structure using individual elements
Tabela 11. Nakłady na demontaż jednego segmentu konstrukcji przęsłowej DMS-65 pojedynczymi elementami

Lp.	Specification/Wyszczególnienie		Units of measurement /Jednostki miary, oznaczenia		Execution (intermediate conditions)/ Wykonanie (warunki przeciętne)	Assembly team/ Zespół monterów		Crane operator/ Operator żurawia
						D	ND	D
	ETO symbols/ symbole eto	workers, types of materials and equipment/ robotnicy, rodzaje materiałów i sprzętu	numerical/ cyfrowe	alphabetical/ literowe	standard adjustment factor/ współczynnik zmiany normy			
a	b	c	d	e	01	02 0,88	03 1,29	04 0,77
01	391	workers/robotnicy	149	r-g	4,95	4,36	6,39	3,81
20	–	bridge span structure/konstrukcja przęsłowa mostu	–	kpl.	1			
70	31200	mobile crane/żuraw samochodowy	148	m-g	0,71			
71	39511	forklift/wózek jezdniowy podnośnikowy	148	m-g	0,71			

Breakdown of works:/Wyszczególnienie robót: 1. Disassembly of curbs/1. demontaż krawężników; 2. removal and transfer of deck plates/2. zdjęcie płyt jezdni i przeniesienie; 3. disassembly of stiffeners/3. demontaż tężników; 4. disassembly and transfer of flat trusses/4. demontaż kratownic płaskich i przeniesienie; 5. disassembly of wind bracing/5. demontaż wiatrownic; 6. disassembly and transfer of cross-beams/6. demontaż belek poprzecznych i przeniesienie; 7. disassembly and transfer of spatial trusses/7. demontaż i przeniesienie kratownic przestrzennych. Legend:/Oznaczenia: E – experienced/D – doświadczony, IE – inexperienced/ND – niedoświadczony

The impact of personnel and site conditions, specified in tables 8 ÷ 11 in the form of factors, allows for an estimated conversion of time standard values. Such adjusted standards can be utilized, among others, in crisis or war conditions, where time is often the most critical factor.

Wpływ uwarunkowań osobowych oraz lokalizacyjnych, określony w tabelach 8 ÷ 11 w postaci współczynników, pozwala szacunkowo przeliczyć wartości norm czasu. Tak skorygowane normy mogą być wykorzystywane m.in. w warunkach kryzysu lub wojny, gdzie czas często jest czynnikiem najistotniejszym.

Conclusions

The field studies focused on the DMS-65 modular bridge in its basic configuration, assembled using the standard method. It is important to highlight the experiment's parameters: the organization of the assembly team's work was strictly defined, and assembly components were available without delay. Based on the results obtained from the time-and-motion studies of MB assembly processes and their analysis, the following conclusions were formulated:

1) the time standard for the preparation of a 30-meter assembly site is 23.68 m-h and 3.38 mh (for a forklift or backhoe loader), and the duration of this process, under intermediate site conditions, is approx. 2 hours 57 min.;

2) favorable site conditions allow for the assembly site preparation time to be shortened by nearly 17% (duration approx. 2 hours 27 min.);

3) adverse site conditions extend the assembly site preparation time by approximately 14% (duration approx. 3 hours 21 min.);

4) the time standard for the assembly of a 15-meter launching nose is 24.96 m-h, and 3.57 mh each (for a forklift or backhoe loader, and for the crane), and the duration of this process, under intermediate organizational conditions, is 3 hours 6 min.;

5) the time standard for the assembly of a 3-meter MB segment is 6.01 m-h, and 0.86 mh each (for a forklift or backhoe loader, and for the crane). The duration of this process, under intermediate organizational conditions, is approx. 45 min.;

6) the time standard for the disassembly of a 3-meter MB segment is 4.95 m-h, and 0.71 mh each (for a forklift or backhoe loader, and for the crane). The duration of this process, under intermediate organizational conditions, is approx. 37 min.;

Wnioski

Przeprowadzone badania poligonowe dotyczyły konstrukcji mostu składanego DMS-65 w układzie podstawowym, montowanego sposobem zasadniczym. Należy podkreślić założenia eksperymentu: organizacja prac zespołu wykonawczego została ściśle określona, a elementy montażowe były dostępne bez opóźnień. Na podstawie uzyskanych wyników badań chronometrażowych procesów montażowych *ms* oraz ich analizy sformułowano następujące wnioski:

1) norma czasu na przygotowanie 30-metrowego placu montażowego wynosi 23,68 r-g oraz 3,38 m-g (w przypadku wózka widłowego lub koparko-ładowarki), a czas trwania tego procesu, przy przeciętnych warunkach lokalizacyjnych, ok. 2 h 57 min;

2) dobre warunki lokalizacyjne pozwalają skrócić czas przygotowania placu montażowego o ok. 17% (czas trwania ok. 2 h 27 min);

3) trudne warunki lokalizacyjne wydłużają czas przygotowania placu montażowego o ok. 14% (czas trwania ok. 3 h 21 min);

4) norma czasu na montaż 15-metrowego dzioba montażowego wynosi 24,96 r-g, 3,57 m-g (w przypadku wózka widłowego lub koparko-ładowarki oraz żurawia), a czas trwania tego procesu, przy przeciętnych warunkach organizacyjnych, 3 h 6 min;

5) norma czasu na montaż 3-metrowego segmentu *ms* wynosi 6,01 r-g, 0,86 m-g (w przypadku wózka widłowego lub koparko-ładowarki oraz żurawia), a czas trwania tego procesu przy przeciętnych warunkach organizacyjnych ok. 45 min;

6) norma czasu na demontaż 3-metrowego segmentu *ms* wynosi 4,95 r-g, 0,71 m-g (w przypadku wózka widłowego lub koparko-ładowarki oraz żurawia), a czas trwania tego procesu przy przeciętnych warunkach organizacyjnych ustalono na ok. 37 min;

7) an extension of the MBSS assembly and disassembly time was observed only in the variant with the most adverse personnel factors (inexperienced team, intermediate operator);

8) the impact of personnel factors, considered in the studies, is very similar for the assembly and disassembly tasks of the MBSS.

The updated unit resource input standards for the investigated basic processes presented in this paper, as well as the acquired knowledge regarding the impact of selected execution-related factors on their execution time, can serve as a tool used in planning work organization and scheduling. In a further stage of research and analysis of modular bridge construction, it is advisable to conduct time-and-motion studies or analyses of the construction of support foundations, the assembly of the support superstructure (type SPS-69B), and other modular structures, e.g., MS-54, which are in the inventory of PAF and/or are located in the state's strategic reserves, with the aim of updating the unit material and labor input standards.

We would like to express our gratitude to the Military Engineering Directorate of the Armed Forces General Command and the Command of the 2nd Engineering Regiment for the opportunity to conduct field studies. We would like to thank the Commander and Soldiers of the 1st Bridge Company, as well as to other individuals who actively participated in the research. We extend special thanks to the Officers from the team supporting the execution of the measurements.

Received: 09.02.2026
Revised: 30.04.2026
Published: 22.07.2026.

7) wydłużenie czasu montażu i demontażu *kpms* zaobserwowano jedynie w wariancie najbardziej niekorzystnych czynników osobowych (niedoświadczony zespół, przeciętny operator);

8) wpływ, uwzględnionych w badaniach, czynników osobowych jest bardzo zbliżony w przypadku montażu i demontażu *kpms*.

Przedstawione w artykule zaktualizowane jednostkowe normy nakładów rzeczowych na badane procesy podstawowe oraz nabyta wiedza, dotycząca wpływu wybranych czynników realizacyjnych na czas ich wykonania mogą stanowić narzędzie wykorzystywane przy planowaniu organizacji robót oraz harmonogramowaniu. W dalszym etapie badań i analiz budowy mostów składanych celowe jest przeprowadzenie badań chronometrażowych lub analiz budowy fundamentów podpór, montażu nadbudowy podpór (typu SPS-69B) oraz innych konstrukcji składanych, np. MS-54, które są na wyposażeniu SZRP lub/i znajdują się w rezerwach strategicznych państwa, w celu uaktualnienia norm czasu.

Podziękowania kierujemy do Zarządu Inżynierii Wojskowej IRW DG RSZ oraz Dowództwa 2. Pułku Inżynieryjnego za możliwość wykonania badań poligonowych. Dziękujemy Dowódcy i Żołnierzom 1 kompanii mostowej oraz innym osobom, którzy aktywnie uczestniczyli w badaniach. Specjalne podziękowania składamy oficerom z zespołu zabezpieczającego wykonanie pomiarów.

Artykuł wpłynął do redakcji: 09.02.2026 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 30.04.2026 r.
Opublikowano: 22.07.2026 r.

Literature

[1] Kowalczyk Z, Zabielski J. Kosztorysowanie i normowanie w budownictwie. WSiP Warszawa; 2005.

[2] Marcinkowski R, Krawczyńska-Piechna A. Projektowanie realizacji budowy. Wydawnictwo Naukowe PWN; 2019.

[3] Jakubowski G. Normowanie techniczne w planowaniu budowy mostów składanych. XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Inżynierii Wojskowej – Infrastruktura transportowa i budowlana w sytuacjach kryzysowych. Tom 2. Warszawa-Rynia; 2002.

[4] Hoła B, Mrozowicz J. Modelowanie procesów budowlanych o charakterze losowym. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław; 2003.

[5] Ostrowska A, Jakubowski G, Chmielewski R, Wolniewicz A, Mikulski E. Identification of execution – related factors and their impact on the assembly time of modular bridge spans. Materiały Budowlane. 2026. DOI: 10.15199/33.2026.03.04.

[6] Katalogi Nakładów Rzeczowych – Budowa mostów składanych. Załącznik nr 2 do Sprawozdania z realizacji pracy naukowo-badawczej PBS 165 pt.: Systemy wspomagania decyzji technologiczno-organizacyjnych w działaniach pododdziałów wojsk inżynieryjnych. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa; 1998.

[7] Marcinkowski R, Jarzyna JR, Marszałek J, Jakubowski G, Sancewicz S, Chmielewski R. Inżynieria eksploatacji infrastruktury drogowej w sytuacjach kryzysowych. WAT i GDDKiA. Warszawa 2009.

[8] Sekunda R, Marcinkowski R. Ryzyko w planowaniu działań inżynieryjno-budowlanych realizowanych przez jednostki zhierarchizowane. Przegląd Budowlany. 2016; 10.

[9] Marcinkowski R, Koper A. Model oceny niepewności nakładów pracy na realizację procesów budowlanych. Przegląd Budowlany. 2009; 12: 48 – 52.

[10] Drogowy most składany DMS-65 – Budowa i eksploatacja. Ministerstwo Obrony Narodowej. Główne Kwatermistrzostwo WP. Szef. Kom. 135/79. Warszawa; 1981.

[11] Marcinkowski R. Planowanie organizacji robót budowlanych na podstawie analizy nakładów pracy zasobów czynnych. Budownictwo i Architektura. 2013; 12 (1). Pages 39-46.

[12] Leśniak A, Piskorz G. Czynniki opóźniające realizacje przedsięwzięć budowlanych w systemie zaprojektuj i wybuduj. Acta Scientiarum Polonorum. Architectura. 2018. DOI: 10.22630/ASPA. 2018.17.4.46.

[13] Górecki J, Winiecki M. Analysis of labor intensity standards for the installation of system facade claddings made of flexible facing tiles. Materiały Budowlane. 2025. DOI: 10.15199/33.2025.10.15.

[14] Koper A, Marcinkowski R. Ocena i normowanie rozwiązań technologiczno-organizacyjnych procesów budowlanych. Budownictwo i Architektura. 2014; 13 (4): 365 – 371.

[15] Rowiński L, Mikoś J. Organizacja i ekonomika budownictwa. Cz. II – Ekonomika budownictwa. PWN. Warszawa; 1977.

[16] Wołk R. Badawcze metody normowania. Zarządzanie produkcją w praktyce. Wydawnictwo Wiedza i Praktyka. Warszawa; 2010.

[17] Malcolm DG, Roseboom JH, Clark CE. Application of a Technique of Research and Development Program Evaluation. Operations Research 7. Pages 646 – 669.

[18] Biruk S. Definiowanie typów i parametrów rozkładów prawdopodobieństwa czasu wykonania procesów. W: Inżynieria Przedsięwzięć Budowlanych – Rekomendowane metody i techniki. Praca zbiorowa pod redakcją Tadeusza Kasprowicza. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Sekcja Inżynierii Przedsięwzięć Budowlanych. Warszawa; 2015.

[19] Winston WL. Microsoft Excel 2013 – Analiza i modelowanie danych biznesowych. APN Promise. Warszawa; 2014.

[20] Jakubowski G, Marcinkowski R. Estimating the time of building processes with probabilistic models. Technical Transactions Civil Engineering 2-B/2014.

[21] Koper A. Badanie i normowanie procesów technologicznych w wykonawstwie monolitycznych konstrukcji betonowych, Problemy naukowo-badawcze budownictwa, Płockie Forum Budowlane 2010. Politechnika Warszawska – Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii w Płocku. Pages 193-202.

[22] Dowództwo Generalne Rodzajów Sił Zbrojnych Zarząd Inżynierii Wojskowej. Zbiór norm szkoleniowych dla pododdziałów inżynieryjnych. Dow. Gen. wewn. 7/2014, Warszawa; 2014.