

The efficiency of system formwork utilization in the light of challenges of modern concrete construction

Analiza wykorzystania deskowań systemowych w świetle wyzwań współczesnego budownictwa betonowego

DOI: 10.15199/33.2025.05.04

Abstract: The article discusses briefly the influence of trends and changes in contemporary concrete construction on technological and organizational aspects of work planning. In this context, a technique for analyzing the efficiency of system formwork utilization was also proposed; it uses available engineering software for scheduling construction works. The method was illustrated with an example from a real construction site.

Keywords: system formwork; monolithic concrete works; scheduling; resources' utilization.

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę wpływu trendów i zmian zachodzących we współczesnym budownictwie betonowym na technologiczne i organizacyjne aspekty planowania robót. W tym kontekście zaproponowano także technikę analizy efektywności wykorzystania deskowań systemowych, wykorzystującą dostępne oprogramowanie inżynierskie do harmonogramowania robót budowlanych. Metoda została zilustrowana przykładem z realnej budowy.

Słowa kluczowe: deskowania systemowe; monolityczne budownictwo betonowe; harmonogramowanie; wykorzystanie zasobów.

As demonstrated by studies conducted over multiple years, the share of costs associated with formwork assembly, operation, and disassembly in reinforced concrete structure execution is remarkably significant. These costs typically reach 30–50% of the total expense [1]. Nemati estimates this share at 40–60% [2], while Illingworth in [3], Hurd in [4], and Jarkas in [5] place it between 30–66%. Research [6] indicates that formwork costs represent approximately 33–38% of concrete structure execution expenses, with Huszár and Lublóy determining this value between 22% and 41% depending on building function [7], and other studies confirming the approximate 33% figure [8]. These significant percentages highlight the crucial role that forming structures play in monolithic concrete construction processes. Rational design and efficient work organization of formwork systems are therefore vital considerations for reinforced concrete contractors. Successfully managing these aspects requires modelling capabilities that account for the various complexities inherent in modern monolithic concrete construction (MCC).

This article presents trends and changes occurring in modern concrete construction and proposes methods to incorporate these considerations into work planning and effectiveness analyses. The primary focus is on analysing system formwork utilization with available engineering scheduling software.

Jak pokazują badania prowadzone na przestrzeni wielu lat, udział kosztów robocizny, materiału i sprzętu, związanych z montażem, pracą i demontażem deskowania w koszcie jednostkowym wykonania konstrukcji żelbetowej jest znaczny – dorównuje, a czasem nawet przewyższa koszt materiałów, sięgając 30–50% [1]. Nemati [2] szacuje go na 40–60%, a Illingworth [3], Hurd [4], czy Jarkas [5] – na 30–66%. W [6] podano, że udział kosztów deskowania w koszcie wykonania konstrukcji betonowej wynosi 33–38%, Huszár i Lublóy w [7] określają tę wartość pomiędzy 22% a 41% kosztów wykonania konstrukcji, zależnie od funkcji budynku, zaś w [8] na ok. 33%.

Wymienione wartości wskazują, jak istotną rolę w procesie realizacji monolitycznych konstrukcji betonowych odgrywa wykonanie konstrukcji formującej. Jej racjonalne zaprojektowanie i organizacja pracy są więc istotne z punktu widzenia wykonawcy robót żelbetowych i wymagają umiejętności modelowania robót w sposób uwzględniający różne aspekty współczesnego monolitycznego budownictwa betonowego (MBB).

W artykule w sposób syntetyczny przedstawiono trendy i zmiany, jakie zachodzą we współczesnym budownictwie betonowym wraz z propozycją uwzględnienia ich w planowaniu i analizie efektywności wykonania robót, koncentrując się przede wszystkim na analizie wykorzystania deskowań systemowych przy użyciu dostępnego oprogramowania do harmonogramowania inżynierskiego.

¹⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii; anna.krawczynska@pw.edu.pl

Challenges of Modern Concrete Construction

Contemporary concrete construction faces numerous challenges, predominantly of technological and organizational nature. Both domestic [9, 10] and international literature [8, 11] has extensively addressed formwork system selection problems, considering various technical and economic criteria. However, a more complex yet less frequently discussed issue involves work organization and analysis of forming structure utilization during construction activities. This challenge combines the estimation of labour intensity for various processes (formwork assembly and disassembly, concreting, curing, reinforcement placement) with technological and organizational conditions stemming from implementation assumptions. These typically involve: division into work plots, establishing rhythm of work, limitations in concreting pace due to horizontal pressure, requirements to maintain specific technological regimes during mixture placement or curing.

Increasingly significant is the need to reduce emission intensity in MCC works, directly resulting from roadmap initiatives targeting climate neutrality by 2050 [12]. One approach involves analysing the carbon footprint of forming structures and utilizing low-carbon concrete, which necessitates changes to traditional curing practices and concrete placement processes. Low-carbon concrete shows significantly delayed setting time and requires specific temperature conditions during the initial setting phase [13]. These characteristics affect horizontal pressure levels of the placed mixture, consequently influencing formwork selection and design methodology, mixture placement pace, work plot dimensions, and the number of rotated formwork sets. Work fronts opened by contractors must account for increased labour for element execution. The more complex curing process, requiring temperature maintenance or heating, impacts not only resource allocation but primarily dictates formwork stripping time. These aspects of MCC technology evolution must be reflected in work planning and associated analyses.

Project issues and concreting pace determination are relatively straightforward to resolve and require collaboration between contractors and formwork manufacturers, especially regarding carbon footprint calculations. These processes should follow general design principles in accordance with the PN-EN 12812:2008 standard and horizontal pressure distribution standards [14].

Reliable duration of individual processes can be well-established by contractors who commonly employ individual (company-specific) or German ARH normative databases [15, 16]. Furthermore, optimization of formwork stripping time, even with significantly delayed-setting concretes, is facilitated by modern techniques measuring strength gain and assessing concrete maturity according to ASTM C1074 [17]. Such solutions are readily available and successfully implemented across European countries.

The aspect requiring further development is the ability to **model and analyze utilization of expensive formwork resources**, particularly in situations not included in baseline plans (original implementation schedules). Such situations may arise

Wyzwania współczesnego budownictwa betonowego

Współczesne budownictwo betonowe mierzy się z różnymi problemami, najczęściej o charakterze technologiczno-organizacyjnym. Literatura krajowa [9, 10] i zagraniczna [8, 11] od lat dość szeroko porusza problem doboru systemu deskowania do wykonania robót z uwzględnieniem różnych kryteriów techniczno-ekonomicznych. Zagadnieniem rzadziej omawianym, a bardziej skomplikowanym jest organizacja pracy i analiza wykorzystania konstrukcji formujących podczas realizacji robót. Problem ten łączy ze sobą kwestie szacowania pracochłonności procesów (montaż i demontaż deskowań, betonowanie, pielęgnacja, układanie zbrojenia) z uwarunkowaniami technologiczno-organizacyjnymi, wynikającymi z przyjętych założeń wykonawczych. Najczęściej dotyczą one: podziału na działki robocze, przyjętego rytmu pracy, ograniczeń w tempie betonowania wskutek parcia poziomego, konieczności zachowania określonego reżimu technologicznego podczas układania lub pielęgnacji ułożonej mieszanki. Coraz częściej pojawia się także problem konieczności ograniczenia emisyjności robót MBB, co jest bezpośrednim efektem wprowadzenia mapy drogowej osiągnięcia neutralności klimatycznej w 2050 r. [12]. Jedną ze ścieżek postępowania na tej drodze jest analiza śladu węglowego stosowanych konstrukcji formujących oraz stosowanie betonów o obniżonej emisyjności, co w kontekście wykonawstwa przekłada się na zmianę dotychczasowych praktyk pielęgnacyjnych i procesów towarzyszących układaniu mieszanki betonowej.

Beton niskiemisyjny charakteryzuje się istotnie opóźnionym czasem wiązania i szczególnymi wymaganiami temperaturowymi w okresie rozpoczęcia wiązania mieszanki [13]. Wpływa to na poziom parcia poziomego układanej mieszanki, a to z kolei na dobór i sposób projektowania deskowania, tempo układania mieszanki, jak również samą wielkość działki roboczej i liczbę kompletów rotowanego deskowania. Wielkość otwieranych przez wykonawcę frontów robót powinna uwzględniać zwiększenie nakładów pracy na wykonanie elementu. Bardziej skomplikowany proces pielęgnacji, wymagający utrzymania właściwej temperatury lub podgrzewania, wpływa nie tylko na ilość zaangażowanych zasobów, ale przede wszystkim – na termin demontażu deskowania. Wymienione aspekty zmian, jakie zachodzą w technologii MBB, muszą mieć odzwierciedlenie w planowaniu robót i prowadzeniu związanych z nim analiz.

Kwestie projektowe oraz określenie tempa betonowania są dosyć proste do rozwiązania i wymagają współpracy wykonawcy z producentem deskowania w przypadku określenia śladu węglowego, a także stosowania ogólnych zasad projektowania zgodnie z normą PN-EN 12812:2008 i normami dotyczącymi rozkładu parcia poziomego [14].

Rzeczne wyznaczenie czasu trwania poszczególnych procesów pracy zostało opanowane przez wykonawców, którzy powszechnie stosują indywidualne (własne, firmowe) i niemieckie bazy normatywów ARH [15, 16]. Z kolei optymalizację terminu rozdeskowania konstrukcji, nawet z zastosowaniem betonów o znacznie opóźnionym czasie czy tempie wiązania,

from delays, work front unavailability, necessary work interruptions due to epidemics, force majeure events, or hazards preventing construction continuation.

Monolithic Concrete Works Model including Formwork's Normative Work Analysis

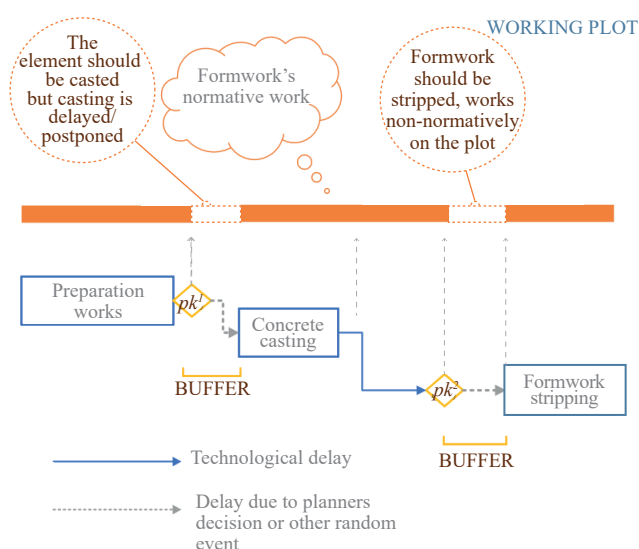
Analysis of system formwork utilization on construction site should be conducted through their allocation assessment. This approach was presented in previous research [6]. It defines allocation optimally as equal to or approaching 1, which indicates that a complete set of rented formwork is utilized throughout the construction period. Allocation level analysis can be performed directly in scheduling software through resource chart analysis.

A more complex challenge involves analyzing the normative work of formwork elements. Normative work occurs during assembly and disassembly, as well as during reinforcement installation and concrete mixture placement. Any “holding” of formwork on the structure or delayed disassembly means the formwork is technically in use but does not perform normative work. This reduces global formwork utilization efficiency in project execution. Extended formwork retention generates rental costs without corresponding work progress. Literature [6, 18] refers to this as “cost of loss”, which serves as a measurement criterion for system formwork utilization efficiency.

While the concept of system formwork utilization has been described, for example, in [6], the question arises: How to analyse normative work or its lack using scheduling programs? Domestic and foreign literature does not provide an answer to this question.

To analyse normative work of formwork, the following reinforced concrete element execution model is proposed, see Figure. Between basic work processes (formwork assembly, reinforcement, concrete casting, and formwork stripping), the model incorporates buffer tasks. The buffer task start date corresponds to preparatory work completion (pk^1) and the earliest possible formwork removal date (pk^2), which may be determined through concrete maturity sensors but should always be verified through concrete testing.

The buffer task duration represents the period when formwork performs no normative work. This applies to situations arising from poor work organization (e.g., unprepared work fronts) or circumstances not included in baseline plans (work interruptions due to hazards or force majeure events).



A model of system formwork's work in monolithic concrete works

Fig.: author

Model analizy pracy deskowań systemowych w realizacji procesów MBB

Rys. autorka

umożliwiają nowoczesne techniki pomiaru przyrostu wytrzymałości i oceny dojrzałości betonu zgodnie z normą ASTM C1074 [17]. Takie rozwiązania są już dostępne na rynku i z powodzeniem stosowane w krajach europejskich.

Kwestią najmniej opanowaną jest **umiejętność modelowania i analizowania poziomu wykorzystania kosztownych zasobów deskowań**, szczególnie w sytuacjach, które nie zostały uwzględnione w tzw. planie bazowym, tj. pierwotnym harmonogramie zadania przyjętym do realizacji. Sytuacje te mogą wynikać nie tylko z opóźnień lub braku dostępności frontów roboczych, ale także z konieczności przerwania prac wskutek np. epidemii, siły wyższej i zagrożeń, uniemożliwiających dalsze prowadzenie robót.

Modelowanie robót MBB z analizą pracy normatywnej deskowań systemowych

Analiza użycia deskowań systemowych na budowie może i powinna być prowadzona przez pryzmat ich alokacji. Takie podejście było prezentowane w [6]. W artykule pojęcie alokacji zdefiniowano tak, aby najbardziej pożądana była jej wartość równa, bądź bliska 1. Świadczy ona o tym, że cały czas wykorzystywany jest na budowie komplet elementów wydzierżawionego deskowania. Analizę poziomu alokacji kompletów deskowań można prowadzić bezpośrednio w programie do harmonogramowania, przez analizę wykresów zasobów.

Znacznie bardziej złożona i trudniejsza do modelowania jest analiza pracy normatywnej elementów deskowania. Praca ta wykonywana jest przez element konstrukcji deskowania podczas jego montażu i demontażu, a także podczas zbrojenia betonowego elementu i układania mieszanki betonowej. Każde „przetrzymanie” deskowania na konstrukcji, opóźnienie demontażu lub betonowania elementu sprawia, że deskowanie jest wykorzystywane, ale nie wykonuje pracy normatywnej. Obniża to poziom globalnego wykorzystania deskowania w realizacji obiektu.

Przetrzymywanie deskowania na konstrukcji generuje bowiem koszt dzierżawy, a nie przekłada się na wykonywaną pracę i postęp robót. W literaturze [6, 18] koszt ten nazywany jest kosztem straty i może być uznawany za miernik oceny wykorzystania deskowania systemowego. O ile koncepcja analizy wykorzystania deskowań systemowych została opisana np. w [6], o tyle powstaje pytanie: *Jak analizować pracę normatywną lub jej brak przy użyciu programów do harmonogramowania?* Literatura krajowa i zagraniczna nie daje odpowiedzi na to pytanie.

Buffer tasks are assigned non-working formwork sets as resources in quantities identical to sets performing normative work in preceding tasks. This enables automatic loss cost calculation in scheduling software. The summary task incorporates all formwork sets allocated to the work front without specific process assignment, allowing determination of formwork occupation time and cost, including periods of non-normative work. The location of buffers in the MCC works' model is shown in Figure, and a fragment of the schedule prepared in MS Project is shown in Table 1.

A practical analysis of system formwork utilization can be traced on the example below. It demonstrates the analytical methodology and it is worth to pay attention to the resultant determination of loss costs and their proportion relative to formwork rental costs. This case study examined a three-story public utility building with basement, featuring an internal diaphragm structure of reinforced concrete walls and prefabricated Filigran-type floors. The building's usable area measured approximately 8,300 m². For concrete work planning, the structure was divided into four segments, each further subdivided into work cycles covering areas of 290–343 m². Each segment included reinforced concrete walls measuring 3.90 m in height with 24 cm thickness. For each cycle, necessary formwork structural elements were designed and selected, including auxiliary equipment (locks, ribs, braces, working platform brackets, screws). A detailed formwork design is presented in [19]. The formwork design ensured identical forming elements appeared in each segment and cycle, enabling efficient transfer of formwork elements between work plots and rationalizing the number of rented elements. Four sets of TRIO wall frame formwork were utilized for work execution. To demonstrate formwork work cost implications, the analysis applied the following parameters [19]: Labor cost: 35 PLN/man-hour, Trio Panel TR/4 330×240 formwork rental: 1.2 PLN/h, Trio Panel TR 120×90 formwork rental: 0.19 PLN/h [19].

The analysis incorporated two primary forming structure formats representing the largest number of rented formwork. Work process durations were calculated using ARH normative values [15]. Two work schedules were prepared: a baseline plan and an actual schedule reflecting on-site work progress, accounting for downtimes and reduced staffing that ex-

W celu analizy pracy normatywnej deskowań proponuję przyjęcie modelu wykonania elementu żelbetowego jak na rysunku. W modelu tym pomiędzy podstawowymi procesami pracy, obejmującymi montaż deskowania i zbrojenia, oraz betonowanie i demontaż deskowania, proponuje się dodanie tzw. zadań buforowych. Termin rozpoczęcia zadania buforowego to termin zakończenia prac przygotowawczych (ozn. *pk*¹) i najwcześniejszy możliwy termin rozdeskowania konstrukcji (ozn. *pk*²). Może on wynikać z ogólnie przyjętych zasad rozdeskowania konstrukcji lub wskazań czujników przyrostu dojrzałości betonu. Każdorazowo powinien być jednak zweryfikowany badaniem betonu.

Czas trwania zadania typu bufor odpowiada czasowi, w którym dane deskowanie nie wykonuje pracy normatywnej. Może on być wykorzystywany w sytuacjach wynikających ze złej organizacji robót w trakcie trwania budowy, gdy np. nie ma przygotowanych frontów robót oraz w sytuacjach, które nie zostały uwzględnione w planie bazowym, np. konieczność przzerwania prac wskutek zagrożeń czy działania siły wyższej, uniemożliwiających dalsze prowadzenie prac.

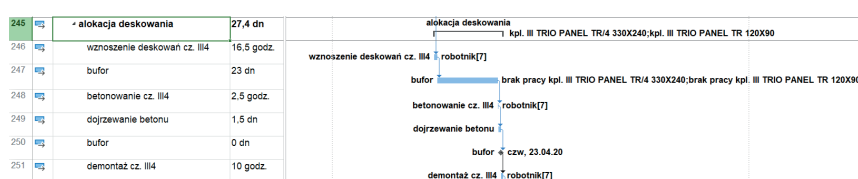
Do zadania buforowego przypisuje się zasoby, tzw. niepracujące komplety (lub elementy) deskowań w takiej samej liczbie, jak komplety wykonujące pracę normatywną w zadaniach poprzedzających. Dzięki temu możliwe jest automatyczne naliczanie kosztów strat w programie do harmonogramowania. Z kolei do zadania podsumowującego analizowane roboty przypisuje się wszystkie komplety deskowań zadysponowane na froncie robót, nie przydzielając ich do poszczególnych procesów pracy. To pozwoli określić czas i koszt zajęcia deskowania, także w trakcie niewykonywania przez nie pracy normatywnej. Lokalizację buforów w przebiegu procesów MBB przedstawiono na rysunku, a fragment harmonogramu sporządzonego w MS Project w tabeli 1.

Praktyczną analizę wykorzystania deskowań systemowych w realizacji obiektu żelbetowego pokazano na przykładzie. Warto w nim zwrócić uwagę nie tylko na metodę wykony-

wania analizy, lecz także na efekt końcowy, tzn. określenie kosztów strat i ich udziału w koszcie dzierżawy deskowania. W przykładzie posłużono się projektem budynku użyteczności publicznej, podpinnionego, trzykondygnacyjnego z wewnętrzną konstrukcją tarczową ze ścian żelbetowych i stropami prefabrykowanymi typu Filigran. Powierzchnia użyt-

Table 1. An excerpt from a schedule of works including analysis of formwork's normative work
Own elaboration
Tabela 1. Fragment harmonogramu robót uwzględniającego analizę pracy normatywnej deskowania
Opracowanie własne

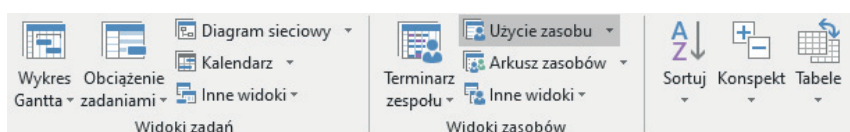
245	• alokacja deskowania	27,4 dn	pon, 09.03.20	pią, 24.04.20	kpl. III TRIO PANEL TR/4 330X240; kpl. III TRIO PANEL TR 120X90
246	wznoszenie deskowań cz. III4	16,5 godz.	pon, 09.03.20	śro, 11.03.20	244 robotnik[7]
247	bufor	23 dn	pon, 11.03.20	pon, 20.04.20	246 brak pracy kpl. III TRIO PANEL TR/4 330X240 brak pracy kpl. III TRIO PANEL TR 120X90
248	betonowanie cz. III4	2,5 godz.	pon, 20.04.20	wto, 21.04.20	247 robotnik[7]
249	dojrzewanie betonu	1,5 dn	wto, 21.04.20	czw, 23.04.20	248
250	bufor	0 dn	czw, 23.04.20	czw, 23.04.20	249 brak pracy kpl. III TRIO PANEL TR/4 330X240 brak pracy kpl. III TRIO PANEL TR 120X90
251	demontaż cz. III4	10 godz.	czw, 23.04.20	pią, 24.04.20	250 robotnik[7]



tended work processes. Cost analysis was performed directly in scheduling software using the «resource usage» view (Table 2).

The table 3 summarizes the results of the analyses performed. The cost analysis revealed that losses due to incomplete formwork utilization in the baseline plan slightly exceeded 7% of formwork rental costs. This resulted directly from work plot division methodology and incomplete formwork utilization on selected plots. This efficiency level demonstrates effective formwork management, indicating conscious division of construction into work plots and cycles with intentional rotational use of complete (or near-complete)

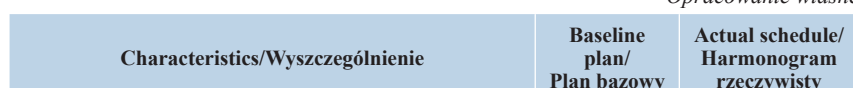
Table 2. An excerpt from „resource utilization” sheet
Tabela 2. Fragment arkusza „użycie zasobów”



	Nazwa zasobu	Praca	Koszt
	▶ Nieprzydzielony	0 godz.	0,00 zł
1	▶ robotnik	17 892,25 godz.	626 228,75 zł
2	▶ kpl. I TRIO PANEL TR 120X90	1 339,85 godz.	15 528,86 zł
3	▶ kpl. I TRIO PANEL TR/4 330X240	1 361,25 godz.	52 272,00 zł
4	▶ brak pracy kpl. I TRIO PANEL TR/4 330X240	100 godz.	3 840,00 zł
5	▶ brak pracy kpl. I TRIO PANEL TR 120X90	79 godz.	915,61 zł
6	▶ brak pracy kpl. II TRIO PANEL TR 120X90	110 godz.	1 065,90 zł
7	▶ brak pracy kpl. II TRIO PANEL TR/4 330X240	110 godz.	3 168,00 zł
8	▶ kpl. II TRIO PANEL TR 120X90	1 266,92 godz.	12 276,45 zł
9	▶ kpl. II TRIO PANEL TR/4 330X240	1 274,48 godz.	36 705,02 zł

Table 3. Summary of formwork's rental costs, formwork's normative work costs and loss costs

Tabela 3. Zestawienie kosztów dzierżawy i pracy normatywnej deskowania oraz kosztów strat



Characteristics/Wyszczególnienie	Baseline plan/ Plan bazowy	Actual schedule/ Harmonogram rzeczywisty
MCC works duration [days]	138	180
Number of Trio Panel 330×240 items		106
Number of Trio Panel 120×90 items		217
Formwork rental cost [zł]	106 086.74	138 918.44
Cost of normative work of formwork [zł]	98 538.93	126 415.78
Loss costs due to formwork underutilization – normative work [zł]	7 547.81	12 502.66
share in rental cost [%]	7.1	9.0
Loss costs due to formwork underutilization – non-normative work (buffer tasks) [zł]	–	38 317.87
share in rental cost [%]		27.6
Loss cost in total [zł]	7 547.81	50 820.53
Total loss costs share in rental cost [%]	7.1	36.6

kowa obiektu to ok. 8300 m². W celu zaplanowania robót betonowych konstrukcję podzielono na 4 segmenty, a każdy z nich na zbliżone zakresem robót takty o powierzchni 290–343 m². W każdym z segmentów rozpatrywano wykonanie ścian żelbetonowych wysokości 3,90 m i grubości 24 cm. W przypadku każdego wyszczególnionego taktu zostały dobrane i zaprojektowane niezbędne elementy konstrukcji deskowania wraz z osprzętem pomocniczym, m.in. zamkami, ryglami, zastrzałami, wspornikami pomostu roboczego, śrubami itp. Szczegółowy projekt deskowań wraz z zestawieniami zawarto w [19]. Kształtując geometrię deskowania zadbano o to, aby w każdym segmencie i takcie pojawiały się te same elementy formujące. Pozwala to na sprawne przekładanie elementów deskowania na kolejne działki robocze i racjonalizuje liczbę dzierżawionych elementów. Do wykonania robót przewidziano zastosowanie czterech kompletów ściennego deskowania ramowego TRIO.

Celem pokazania, jakie koszty generuje praca deskowań (lub jej brak), założono: koszt roboczogodziny – 35 zł/r-g; koszt wypożyczenia deskowania Trio Panel TR/4 330x240 – 1,2 zł/h, koszt wypożyczenia deskowania Trio Panel TR 120x90 – 0,19 zł/h [19]. W analizie uwzględniono 2 formaty konstrukcji formujących, stanowiące największą grupę wśród dzierżawionych deskowań. Czas wykonania procesów pracy skalkulowano z wykorzystaniem normatywów ARH [15].

W ramach analizy sporządzono dwa harmonogramy robót: plan bazowy oraz harmonogram rzeczywisty, odzwierciedlający postęp robót na budowie, uwzględniający przestoje i spadki zatrudnienia, skutkujące wydłużeniem procesów pracy. Analizę kosztową prowadzono bezpośrednio w programie do harmonogramowania robót, przy użyciu widoku „użycie zasobu” (w tabeli 2).

W ramach analizy sporządzono dwa harmonogramy robót: plan bazowy oraz harmonogram rzeczywisty, odzwierciedlający postęp robót na budowie, uwzględniający przestoje i spadki zatrudnienia, skutkujące wydłużeniem procesów pracy. Analizę kosztową prowadzono bezpośrednio w programie do harmonogramowania robót, przy użyciu widoku „użycie zasobu” (w tabeli 2).

W tabeli 3 zebrano wyniki przeprowadzonych analiz. Koszt straty z tytułu niepełnego wykorzystania konstrukcji formujących, wg planu bazowego, niewiele przekracza 7% kosztów dzierżawy szalunków i wynika bezpośrednio ze sposobu podziału na działki i takty robocze oraz niepełnego wykorzystywania deskowań na wybranych działkach. Poziom ten należy ocenić bardzo dobrze. Świadczy on o świadomym podziale obiektu na działki i takty robocze z wyraźnym zamiarem rotacyjnego wykorzystywania przez wykonawcę pełnych (lub prawie pełnych) kompletów deskowań. Niestety warunki realne prowadzenia budowy, w tym dostępność pracowni-

Own elaboration
Opracowanie własne

formwork sets. However, actual construction conditions, including worker availability fluctuations, work front opening delays, downtimes, and unplanned work suspension during quarantine (March 11, 2020, to April 20, 2020), increased losses from incomplete formwork utilization to 37% of rental costs. This significantly reduced formwork utilization efficiency and elevated construction costs.

Conclusions

While monolithic concrete construction continues to evolve technologically, forming structures' work remains a critical price-determining factor in construction execution. Developing techniques enabling planners to control construction processes and evaluate formwork utilization is therefore essential. The analysis method proposed demonstrates how readily available planning tools can assess system formwork utilization effectiveness. This analysis can be implemented during various construction phases: after closing selected sections, during MCC process implementation milestones, or following task completion. Such analyses support contractors in implementing effective organizational actions that improve MCC technology work execution during implementation while remaining adaptable to other contemporary concrete construction challenges.

ków, opóźnienia w otwieraniu frontów prac i przestoje, a także nieplanowane wstrzymanie robót na czas kwarantanny (okres od 11.03.2020 r. do 20.04.2020 r.) zwiększyły straty z tytułu niepełnego wykorzystania deskowania do poziomu 37% kosztów najmu, co znacznie obniżyło efektywność wykorzystania szalunków i podniosło koszty budowy.

Podsumowanie

Monolityczne budownictwo betonowe zmienia się pod względem technologicznym, niemniej praca konstrukcji formujących dalej pozostaje istotnym czynnikiem cenotwórczym w wykonawstwie robót. Opracowanie technik, które dają planującemu możliwość kontroli przebiegu procesu budowlanego i jego oceny pod kątem wykorzystania deskowań, jest więc bardzo istotne. Zaproponowana w artykule metoda analizy pokazuje, jak prosto, przy użyciu dostępnych narzędzi do planowania, można analizować efektywność wykorzystania deskowań systemowych. Analiza ta może być prowadzona podczas prowadzenia robót, np. po zamknięciu wybranych sekcji, w etapach realizacji procesów MBB (kamieniach milowych), jak i po zrealizowaniu zadania. Może to wspomóc wykonawcę w podejmowaniu skutecznych działań organizacyjnych, usprawniających proces wykonywania robót w technologii MBB już w trakcie ich realizacji, a jednocześnie nie zamyka się na inne wyzwania związane z współczesnymi problemami budownictwa betonowego.

Received: 03.01.2025

Revised: 03.03.2025

Published: 22.05.2025

Artykuł wpłynął do redakcji: 03.01.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 03.03.2025 r.

Opublikowano: 22.05.2025 r.

Literature:

- [1] Peurifoy R.L., Oberlender G.D. Formwork for concrete structures. New York: McGraw-Hill; 2010
- [2] Nemati K.M. Temporary structures: Formwork for concrete. Washington: University of Washington; 2007
- [3] Illingworth J.R. Construction methods and planning. London: E&FN Spon Press; 2010
- [4] Hurd MK. Formwork for concrete. Michigan: American Concrete Institute; 2005
- [5] Jarkas AM. Buildability factors affecting formwork labour productivity of building floors. Canadian Journal of Civil Engineering. 2010; 37; 1383–1394
- [6] Krawczyńska-Piechna A. Wspomaganie planowania monolitycznych robót betonowych z zastosowaniem technik interaktywnych. Materiały Budowlane. 2016; <https://doi.org/10.15199/33.2016.06.16>
- [7] Huszár Z, Lublóy E. Examination of the cost ratio of the formwork. Acta Technica Jaurinensis. 2021; <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00598>
- [8] Terzioğlu T, Polat G, Turkoglu H. Formwork System Selection Criteria for Building Construction Projects: A Structural Equation Modelling Approach. Buildings. 2022; <https://doi.org/10.3390/buildings12020204>
- [9] Krawczyńska-Piechna A. Wykorzystanie metod wielomodelowej analizy dyskryminacyjnej do wyboru systemu deskowania stropowego. Materiały Budowlane. 2017; <https://doi.org/10.15199/33.2017.08.34>
- [10] Radziejowska A, Sobotka A. Comparative analysis of slab formwork of monolithic reinforced concrete buildings. Archives of Civil Engineering. 2020; <https://doi.org/10.24425/ace.2020.131779>
- [11] Devi K, Yadav T. Cost Comparison of Different Types of Formworks. Journal of Building Material Science. 2023; <https://doi.org/10.30564/jbms.v5i1.5515>
- [12] The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete, Global Cement and Concrete Association. London; 2021
- [13] Boruc J. Betony niskoemisyjne – geneza, możliwości, perspektywy zastosowania. <https://bzg.pl/poradnik/artykul/betony-niskoemisyjne-geneza-mozliwosci-perspektywy-zastosowania/id/40530>.
- [14] Ambroziak A. Przegląd metod wyznaczania parcia mieszanki betonowej na deskowanie. Przegląd Budowlany. 2024; <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.4873>
- [15] Arbeitszeit-Richtwerte Hochbau – Tabellen., Neu-Isenburg: Zeittechnik-Verlag GmbH; 2014
- [16] Hoffmann F, Motzko Ch, Corsten B. Aufwand und Kosten zeitgemäßer Schalverfahren. Neu-Isenburg: Zeittechnik-Verlag; 2012.
- [17] ASTM C1074–17: Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method
- [18] Kapliński O (red). Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. Warszawa: Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej; 2007.
- [19] Zalewski D. Projekt wykonania konstrukcji żelbetowej obiektu z analizą efektywności wykorzystania deskowań systemowych. Praca dyplomowa magisterska. Płock: Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii; 2020.