

Efekt uczenia w harmonogramowaniu wieloobektowych przedsięwzięć budowlanych z zastosowaniem algorytmu symulowanego wyżarzania

The learning effect in scheduling multi-object construction projects using the simulated annealing algorithm

dr inż. Michał Podolski (ORCID: 0000-0003-3795-5823), Politechnika Wrocławska

DOI 10.5604/01.3001.0016.2711

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę harmonogramowania budowlanych przedsięwzięć wieloobektowych z uwzględnieniem efektu uczenia. Efekt ten pojawia się podczas wykonywania robót jednego rodzaju w wielu obiektach budowlanych. Doprowadza to do istotnego skrócenia czasu trwania przedsięwzięcia. W prezentowanym modelu przedsięwzięcia istnieje problem poszukiwania optymalnej kolejności wykonywania obiektów, która minimalizuje czas trwania przedsięwzięcia. W artykule zagadnienie to z powodzeniem rozwiązano za pomocą metaheurystycznego algorytmu symulowanego wyżarzania i zilustrowano przykładem praktycznym.

Słowa kluczowe: efekt uczenia, harmonogramowanie, budowlane przedsięwzięcia.

Abstract: The article presents the issues of scheduling multiunit construction projects, taking into account the learning effect. This effect occurs when one type of the activity is carried out in many building units. This leads to a significant reduction in the duration of the project. In the presented model of the project, there is a problem of searching for the optimal order of execution of the units, which minimizes the duration of the project. In this article, this problem was successfully solved using a metaheuristic simulated annealing algorithm and illustrated by a case study.

Keywords: learning effect, scheduling, construction projects.

1. Wprowadzenie

W praktyce budowlanej można spotkać się z przedsięwzięciami powtarzalnymi, które polegają na realizacji wielu obiektów budowlanych o podobnych rozwiązaniach architektonicznych i konstrukcyjnych. Do tego rodzaju przedsięwzięć należy realizacja obiektów liniowych, np. odcinków dróg, autostrad, sieci rurociągowych czy grupy obiektów kubaturowych, np. osiedla domów jednorodzinnych, budynki szeregowe, wielokondygnacyjne (przedsięwzięcia wieloobektowe). Cechą takich przedsięwzięć jest specjalizacja zespołów roboczych do realizacji robót jednego rodzaju, które przechodzą z działki roboczej lub obiektu poprzedniego na kolejny, stale wykonując ten sam rodzaj prac. W celu utworzenia optymalnego harmonogramu wykonania robót takiego przedsięwzięcia stosowane są różne metody i techniki. Do nich należą: metoda pracy równomiernej [1], metody sprzężeń czasowych (*Time Couplings Methods* TCM) [2], metody związane z techniką tzw. linii równowagi (*Line of Balance* LOB), np. LSM (*Linear Scheduling Method*) [3], metody wykorzystujące koncepcję tzw. ciągu kontrolnego [4]. W polskiej literaturze ten sposób

modelowania przedsięwzięcia budowlanego nosi nazwę systemu potokowego. W Polsce zagadnienia zastosowań systemów potokowych w przedsięwzięciach budowlanych poruszane były w wielu pracach, m.in. w [2, 5, 6]. W literaturze światowej tego rodzaju przedsięwzięcia budowlane są określane jako przedsięwzięcia powtarzalne lub jako szczególny ich przypadek, jako przedsięwzięcia wieloobektowe.

Wykonywanie stale powtarzających się czynności w przedsięwzięciu powtarzalnym powoduje, że w trakcie jego wykonywania zespoły robocze, które je wykonują zyskują doświadczenie. Pozwala ono skracać czasy wykonywania czynności przedsięwzięcia wraz z jego postępem. Ma to oczywisty wpływ na skrócenie czasu trwania całego przedsięwzięcia i tym samym obniżenie jego całkowity koszt. Uwzględnienie tego zjawiska w trakcie harmonogramowania umożliwi wykonawcy przedsięwzięcia przedstawienie inwestorowi oferty na jego wykonanie, która będzie charakteryzować się niższym czasem realizacji i tym samym niższym kosztem w porównaniu do ofert od innych wykonawców. Zjawisko to nazywane jest w literaturze efektem uczenia. Wpływ efektu uczenia na wydajność zespołów

pracowników podczas wykonywania czynności powtarzalnych w budownictwie był badany w wielu pracach. Dotyczyły one m.in. wykonywania konstrukcji żelbetowych [7], robót przy wykonywaniu prefabrykatów [8]. Wpływ efektu uczenia został również ujęty w zagadnieniu harmonogramowania przedsięwzięć powtarzalnych. Efekt uczenia zastosowany w harmonogramowaniu z użyciem metody LOB został przedstawiony m.in. w pracy [9]. Ponadto harmonogramowanie przedsięwzięć powtarzalnych z zastosowaniem teorii uczenia i zapominania zostało przedstawione w pracy [10].

W niniejszym artykule zostanie przedstawiony problem optymalizacji harmonogramu przedsięwzięcia wieloobektowego z uwzględnieniem efektu uczenia z wykorzystaniem metaheurystycznego algorytmu symulowanego wyżarzania.

2. Model optymalizacyjny rozpatrywanego budowlanego przedsięwzięcia wieloobektowego

Budowlane przedsięwzięcie wieloobektowe polega na realizacji wielu obiektów budowlanych, takich jak budynki jednorodzinne, szeregowe czy wielokondygnacyjne. Charakterystyczną cechą ich jest możliwość występowania różnych wielkości obiektów wchodzących w skład takiego przedsięwzięcia. Ponadto długości czasów trwania robót składających się na wykonanie wybranego obiektu mogą być dowolne. Umożliwia to projektowanie takiej kolejności wykonywania obiektów, która będzie optymalizowała przyjęte kryterium optymalizacji. Podczas tworzenia harmonogramu przedsięwzięcia w przedstawianym modelu uwzględnia się efekt uczenia. Przyjęto w artykule model wykładniczy uczenia w trakcie wykonywania jednego rodzaju roboty założony przez Wrighta [11]:

$$T_n = T_1 \cdot n^{-l} \quad (1)$$

gdzie:

T_n – czas wykonywania roboty w n -tym obiekcie,

T_1 – czas wykonywania roboty w pierwszym obiekcie,

n – liczba powtórzeń roboty jednego rodzaju dokonanych przed obiektem n ,

l – wskaźnik krzywej uczenia (doświadczenia) zdefiniowany jako:

$$l = - \frac{\log s}{\log 2} \quad (2)$$

gdzie:

s – stopa uczenia (w artykule przyjęto wartość stopy uczenia $s = 0,90$).

W przedstawionym w artykule modelu wartość wskaźnika krzywej uczenia wynosi:

$$l = - \frac{\log 0,90}{\log 2} = 0,152 \quad (3)$$

Model optymalizacyjny rozpatrywanego przedsięwzięcia wieloobektowego charakteryzuje się poniższymi parametrami.

- Przedsięwzięcie tworzy zbiór obiektów budowlanych $Z = \{Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_f, \dots, Z_n\}$.

- Do wykonywania robót w przedsięwzięciu istnieją grupy robocze, z których każda wykonuje robotę jednego rodzaju. Tworzą one zbiór $B = \{B_1, B_2, B_3, \dots, B_k, \dots, B_m\}$.

- Każdy obiekt $Z_j \in Z$ wymaga realizacji m robót, które tworzą zbiór $O_j = \{O_{j1}, O_{j2}, O_{j3}, \dots, O_{jk}, \dots, O_{jm}\}$.

- Zakłada się, że robota $O_{jk} \in O_j$ może być realizowana przez grupę roboczą B_k . Czas trwania roboty O_{jk} bez uwzględnienia efektu uczenia wynosi $p_{jk} > 0$. Zbiór czasów trwania p_j robót bez uwzględnienia wpływu uczenia ze zbioru O_j określa wektor $p_j = [p_{j1}, p_{j2}, p_{j3}, \dots, p_{jk}, \dots, p_{jm}]$. Czasy trwania robót p_{jk} są ustalane na podstawie nakładów pracy (wyrażonych w roboczogodzinach lub maszynogodzinach) wyznaczonych na podstawie bazy normatywnej (KNR, KSNR, norm zakładowych, kalkulacji własnej) i wielkości grupy roboczej (liczby pracowników).

- Zakłada się uwzględnienie efektu uczenia na długości czasów trwania robót ze zbioru O_j w wektorze $p_{u,j} = [p_{u,j1}, p_{u,j2}, p_{u,j3}, \dots, p_{u,jk}, \dots, p_{u,jm}]$, gdzie $p_{u,jk} = p_{jk} \cdot j^{-l} = p_{jk} \cdot j^{-0,152}$, a j – liczba powtórzeń roboty jednego rodzaju.

Ograniczenia:

- Zakłada się kolejność (sekwencję) wykonywania robót wynikająca z technologii:

$$O_{j,k-1} < O_{j,k} < O_{j,k+1} \quad (4)$$

- Zakłada się, że w dowolnej chwili każda grupa robocza z zespołu B_k może wykonywać tylko jedną robotę.

- Zakłada się, że w dowolnej chwili na działce Z_j może być wykonywany tylko jeden rodzaj robót.

- Zakłada się, że robota $O_{jk} \in O_j$ jest realizowana nieprzerwanie przez jedną grupę roboczą B_k przez czas bez uwzględnienia efektu uczenia $p_{jk} > 0$ lub czas z uwzględnieniem efektu uczenia $p_{u,jk} > 0$.

- Zmienną decyzyjną jest kolejność π wykonywania obiektów, która dla każdej z grup roboczych jest taka sama. Liczność zbioru Π wszystkich możliwych permutacji $\pi = (\pi(1), \pi(2), \dots, \pi(j), \dots, \pi(n))$ w modelu wynosi $n!$. Rozwiązaniem optymalnym problemu optymalizacyjnego w danym przedsięwzięciu jest znalezienie uszeregowania (harmonogramu) realizacji robót na zadanym zbiorze działek Z określonego przez podanie terminów rozpoczęcia robót oraz takiego, który optymalizuje przyjętą wartość funkcji celu, spełniając założone ograniczenia. Funkcją celu w przedstawionym modelu jest termin T realizacji wszystkich robót we wszystkich obiektach. Zadanie optymalizacyjne w modelu polega więc na znalezieniu harmonogramu wykonywania robót, który minimalizuje czas trwania przedsięwzięcia.

Znalezienie harmonogramu dla przyjętej zmiennej decyzyjnej – permutacji π wiąże się z podaniem terminów za-

kończenia wykonywania obiektów ze zbioru Z . Terminy te można określić ze wzoru o postaci rekurencyjnej:

$$C_{\pi(j),k} = \max\{C_{\pi(j-1),k}, C_{\pi(j),k-1}\} + p_{\pi(j),k}, \quad (5)$$

gdzie: $j = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, m$, $\pi(0) = 0$, $C_{0,k} = 0$, $C_{j,0} = 0$.

Terminy zakończenia wykonywania poszczególnych robót mogą być znalezione w czasie rzędu $O(nm)$. Dla wybranego kryterium T (minimum czasu realizacji wszystkich obiektów) poszukiwana jest permutacja $\pi^* \in \Pi$, dla której:

$$T(\pi^*) = \min_{\pi \in \Pi} T(\pi), \quad (6)$$

gdzie $T(\pi) = C_{\pi(n),m}$.

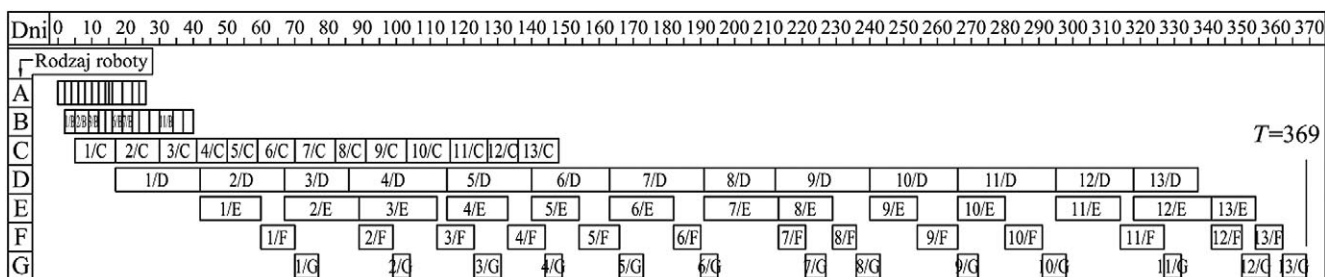
Przedstawiony model optymalizacyjny przedsięwzięcia jest NP-trudnym zagadnieniem optymalizacyjnym [12]. NP-trudność w przedstawionym modelu polega na braku możliwości skonstruowania algorytmu dokładnego (znajdującego rozwiązanie optymalne), który rozwiązywałby dany problem w czasie zależnym od wyrażenia wielomianowego. Dla takich problemów są możliwe do skonstruowania tylko takie algorytmy dokładne, których czas obliczeń rośnie wykładniczo, czyli bardzo szybko wraz ze wzrostem rozmiarów problemów. W związku z tym nawet wielokrotny wzrost mocy obliczeniowej komputerów nie powoduje znaczącej poprawy szybkości rozwiązywania tego typu zagadnień algorytmami dokładnymi. Z tego względu w artykule do poszukiwań rozwiązań optymalnych zastosowano przybliżony, metaheurystyczny algorytm symulowanego wyżarzania [13].

3. Przykład obliczeniowy przedsięwzięcia wieloobiektowego

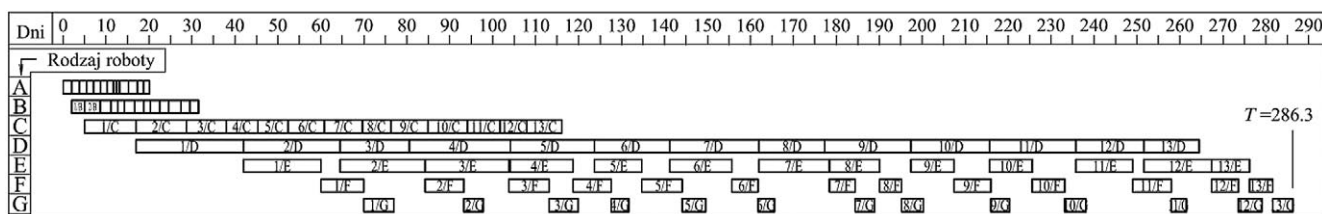
Wykonawca na zlecenie inwestora ma zrealizować przedsięwzięcie polegające na wybudowaniu $n = 13$ budynków mieszkalnych różnych od siebie pod względem wielkości robót. W przedsięwzięciu każdy z budynków wymaga wykonania $m = 7$ robót. Wykonawca dysponuje po jednym zespole roboczym dla każdego rodzaju robót. Na podstawie pracochłonności robót w budynkach oraz składu i wydajności brygady roboczej wykonawcy ustalono czasy trwania realizacji robót, które przedstawione są w tabeli 1. W trakcie wykonywania robót przez zespoły robocze uwzględnia się wpływ zdobywania doświadczenia (uczenia) przez ich pracowników. Powoduje to istotne skracanie czasów trwania robót jednego rodzaju podczas przebiegu przedsięwzięcia. Zakłada się, że wpływ ten jest określony poprzez założony model wykładniczy (1) ze stopą uczenia wynoszącą 90% (2). W związku z tak ustalonym modelem przedsięwzięcia wykonawca ma możliwość utworzenia optymalnego harmonogramu z uwzględnieniem kryterium czasu trwania całego przedsięwzięcia T . Na początku przyjęto rozwiązanie wyjściowe (referencyjne) z założeniem realizacji według kolejności numeracji obiektów, tj. dla zmiennej decyzyjnej $\pi = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)$ bez uwzględnienia efektu uczenia podczas wykonywania przedsięwzięcia. Czas realizacji jego harmonogramu dla przyjętej zmiennej decyzyjnej π wynosi 369 dni roboczych. Szczegółowy harmonogram jest przedstawiony na rysunku 1.

Tabela 1. Czasy trwania robót wykonywanych przez grupy robocze, wyrażone w dniach roboczych

Numer i rodzaj roboty $k =$	Obiekty $j =$												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 (A – zagospodarowanie terenu)	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3	2	2
2 (B – roboty ziemne)	3	4	3	2	2	3	3	2	3	3	4	3	3
3 (C – fundamenty)	12	13	11	9	9	11	12	9	12	13	11	9	12
4 (D – ściany, stropy)	25	15	19	29	25	23	28	21	28	26	29	23	19
5 (E – więźba dachowa)	18	22	23	18	14	19	22	16	14	14	19	23	13
6 (F – okna, drzwi, instalacje)	10	10	11	11	12	8	8	7	12	11	13	9	8
7 (G – wykończenie)	7	5	8	5	7	5	6	7	6	7	5	8	7



Rys. 1. Harmonogram przedsięwzięcia dla rozwiązania wyjściowego $\pi = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)$ bez uwzględnienia efektu uczenia



Rys. 2. Harmonogram przedsięwzięcia dla rozwiązania wyjściowego $\pi = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)$ z uwzględnieniem efektu uczenia

Następnym krokiem w rozwiązywaniu przykładu obliczeniowego było uwzględnienie efektu uczenia podczas wykonywania przedsięwzięcia budowlanego. Zakładając kolejność realizacji obiektów według kolejności ich numeracji, tj. dla zmiennej decyzyjnej $\pi = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13)$ otrzymano harmonogram z czasem realizacji wynoszącym 286,3 dnia roboczego. Szczegółowy harmonogram jest przedstawiony na rysunku 2. Uwzględnienie efektu uczenia pozwoliło na skrócenie czasu trwania przedsięwzięcia o 22,4%.

Ostatnim krokiem było rozwiązanie zagadnienia optymalizacji dyskretnej polegającej na poszukiwaniu optymalnej kolejności realizacji obiektów, dla której czas trwania przedsięwzięcia byłby minimalny. Problem ten rozwiązano za pomocą metaheurystycznego algorytmu symulowanego wyżarzania.

4. Rozwiązanie problemu optymalizacyjnego przykładu obliczeniowego za pomocą algorytmu symulowanego wyżarzania

Przedstawione powyżej w przykładzie obliczeniowym zagadnienie optymalizacyjne jest NP-trudnym problemem optymalizacji dyskretnej. Do poszukiwania minimalnej wartości funkcji celu proponuje się zastosowanie przybliżonego algorytmu symulowanego wyżarzania (SA) należącego do grupy metaheurystyk. Algorytm SA został zaproponowany w pracy Kirkpatricka [13]. Algorytm ten stosuje analogię do procesu termodynamicznego chłodzenia ciała stałego w celu wyprowadzenia trajektorii poszukiwań z lokalnego ekstremum. Stany ciała stałego są postrzegane analogicznie jako poszczególne rozwiązania problemu, natomiast energia ciała – wartości funkcji celu. W trakcie fizycznego procesu studzenia temperatura redukowana jest powoli w celu utrzymania równowagi energetycznej. Algorytm SA startuje z rozwiązania początkowego, najczęściej wybranego losowo. Następnie, w każdej iteracji z otoczenia rozwiązania bazowego π wybiera się, według ustalonych zasad lub losowo, rozwiązanie π' . Staje się ono rozwiązaniem bazowym w następnej iteracji, jeśli wartość funkcji celu jest lepsza od aktualnego rozwiązania bazowego lub w przypadku przeciwnym może nim stać się z prawdopodobieństwem: $p = \exp(-\Delta/T_i)$, gdzie $\Delta = c(\pi') - c(\pi)$, T_i – temperatura w bieżącej iteracji i , c – funkcja celu. W każdej iteracji wykonywanych jest m losowań z otoczenia bieżącego rozwiązania bazowego. Parametr zwany

temperaturą zmniejsza się tak, jak w naturalnym procesie wyżarzania. Najczęściej przyjmuje się jeden z dwóch schematów studzenia:

- geometryczny $T_{i+1} = \lambda_i T_i$
- logarytmiczny $T_{i+1} = T_i / (1 + \lambda_i T_i)$,

gdzie: $i = 0, \dots, N - 1$,

T_0 – temperatura początkowa,

T_N – temperatura końcowa,

N – liczba iteracji,

λ_i – parametr.

W algorytmie z reguły przyjmuje się na początku określone wartości parametrów T_0 , T_N , N oraz wylicza się parametr λ_i . Powinna zachodzić zależność $T_0 > T_N$, należy przyjmować T_N odpowiednio małe, bliskie zeru. Ogólny algorytm metody SA zastosowany do rozwiązywania problemów przepływowych, którego przykładem jest prezentowany w artykule model przedsięwzięcia wieloobektowego przedstawiony jest poniżej.

Krok 0. Wyznacz rozwiązanie początkowe $\pi \in \Pi$. Podstaw $\pi_{SA} = \pi^0$, $k = 0$, $T = T_0$.

Krok 1. Wykonaj x -razy kroki 1.1 – 1.3.

Krok 1.1. Podstaw $k := k + 1$. Wybierz losowo $\pi' \in N(V, \pi^{k-1})$.

Krok 1.2. Jeżeli $c(\pi') > c(\pi_{SA})$ to podstaw $\pi_{SA} = \pi'$.

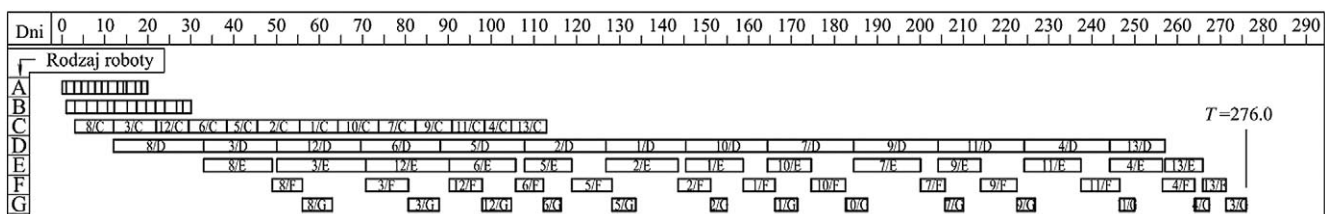
Krok 1.3. Jeżeli $c(\pi') > c(\pi_{k-1})$ to podstaw $\pi_k = \pi'$. W przeciwnym przypadku zaakceptuj rozwiązanie π' z prawdopodobieństwem $\exp((c(\pi_{k-1}) - c(\pi'))/T)$, tj. $\pi_k = \pi'$, jeżeli zaakceptowano rozwiązanie π' lub $\pi_k = \pi_{k-1}$, jeżeli nie zaakceptowano rozwiązania π' .

Krok 2. Zmień temperaturę T według określonego schematu chłodzenia.

Krok 3. Jeżeli $T > T_N$ idź do kroku 1, w przeciwnym wypadku STOP.

Algorytmy SA znajdują zastosowanie w rozwiązywaniu wielu zagadnień optymalizacyjnych, w tym problemów przepływowych rozważanych w ramach zagadnień optymalizacji dyskretnej. Dobre wyniki uzyskiwane w aplikacjach pozwalają na traktowanie algorytmów SA jako jednych z najsilniejszych narzędzi. Parametry sterujące w zastosowanym algorytmie SA to:

- otoczenie N zawiera permutacje wygenerowane z π za pomocą ruchu „wstaw”,
- zastosowano funkcję akceptacji Boltzmana,
- przyjęto schemat geometryczny chłodzenia, tj. $T_{i+1} = \lambda T_i$ oraz $T_0 = 60$, $\lambda = 0,99$, liczba rozpatrywanych rozwiązań przy ustalonej temperaturze – 0,5 n ,
- całkowita liczba iteracji algorytmu SA – 10000.



Rys. 3. Harmonogram przedsięwzięcia dla rozwiązania suboptymalnego $\pi = (8, 3, 12, 6, 5, 2, 1, 10, 7, 9, 11, 4, 13)$ z uwzględnieniem zjawiska uczenia

Implementację programową algorytmu SA dla rozpatrywanego modelu dokonano w środowisku Mathematica. Obliczenia algorytmem SA dla przykładu obliczeniowego wykonano trzykrotnie. W ich wyniku otrzymano harmonogram z wartością funkcji celu wynoszącą 276 dni roboczych dla następującej zmiennej decyzyjnej $\pi = (8, 3, 12, 6, 5, 2, 1, 10, 7, 9, 11, 4, 13)$. Uzyskany wynik jest o 3,6% lepszy od wyniku uzyskanego dla kolejności wyjściowej. Szczegółowy harmonogram jest przedstawiony na rysunku 3.

5. Podsumowanie

Przedsięwzięcia wieloobiektywne są szczególnym rodzajem przedsięwzięć budowlanych, w których powinno być uwzględniane zjawisko zdobywania doświadczenia pracowników, czyli efekt uczenia. Wynika ono z powtarzalności robót w obiektach wykonywanych w trakcie takiego przedsięwzięcia. Metaheurystyczny algorytm symulowanego wyżarzania pozwala na powodzenie na znajdowanie rozwiązań suboptymalnych w zadaniu optymalizacji dyskretnej, który znajduje się w modelu przedsięwzięcia przedstawionym w artykule. Dalsze prace autora będą skupiały się na możliwości uwzględniania innych ograniczeń optymalizacyjnych, funkcji celu oraz zjawisk związanych z uczeniem np. efektu zapominania.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dyżewski A., Technologia i organizacja budowy. Część II: Organizacja i planowanie budowy. Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1971
- [2] Hejducki Z., Rogalska M., Harmonogramowanie procesów budowlanych metodami sprzężeń czasowych, Politechnika Lubelska, Lublin, 2017
- [3] Chrzanowski E. N., Johnston D., Application of linear construction. Journal of Construction Engineering and Management, 112(4), 1986, str. 476–491
- [4] Harris R. B., Ioannou P. G., Scheduling projects with repeating activities, Journal of Construction Engineering and Management, 124(4), 1998, str. 269–278
- [5] Marcinkowski R., Metody rozdziału zasobów realizatora w działalności inżynieryjno-budowlanej. Warszawa, WAT, 2002
- [6] Podolski M., Zarządzanie zasobami w harmonogramowaniu wieloobiektywnych przedsięwzięć budowlanych z wykorzystaniem teorii szeregowania zadań, Przegląd Budowlany, 4/2014, str. 42–47
- [7] Jarkas A. M., Horner M., Revisiting the applicability of learning curve theory to formwork labour productivity, Construction Management and Economics, 29(5), 2011, str. 483–493
- [8] Tai H.W., Chen J. H., Cheng J. Y., Wei H. H., Learn Curve for Precast Component Productivity in Construction, International Journal of Civil Engineering, 19, 2021, str. 1179–1194
- [9] Arditi D., Tokdemir O. B., Suh K., Effect of learning on line-of-balance scheduling, International Journal of Project Management, 19(5), 2001, str. 265–277
- [10] Biruk S., Rzepecki Ł., Scheduling Repetitive Construction Processes Using the Learning – Forgetting Theory, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, str. 471, 112039
- [11] Wright T. P., Factors affecting the cost of airplanes. Journal of the Aeronautical Sciences, 1936, 3(4), str. 122–128
- [12] Smutnicki C., Algorytmy szeregowania, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa, 2002
- [13] Kirkpatrick S., Gelatt C. D., Vecchi M. P., Optimization by simulated annealing, Science, 1983, 220, str. 671–680

XIII KONFERENCJA NAUKOWA – KONSTRUKCJE ZESPOLONE 2023 | Zielona Góra, 29–30 czerwca 2023 r.



Konferencja jest poświęcona szeroko rozumianym konstrukcjom zespólnym, które powszechnie stosowane są w budownictwie. Tematyka konferencji dotyczy aktualnej problematyki konstrukcji zespólnych z zakresu teorii, badań, projektowania, nowych technologii, realizacji, diagnostyki, wzmocnień, normalizacji i perspektyw rozwoju. Podczas konferencji zostaną wygłoszone dwa referaty problemowe, a jedna z sesji będzie poświęcona jubileuszowi 90 urodzin Profesora Tadeusza Bilińskiego.

Organizatorem konferencji jest Instytut Budownictwa Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Patronat honorowy nad konferencją objęli: Andrzej Adamczyk – Minister Infrastruktury, Kazimierz Furtak – Przewodniczący Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk, Wojciech Strzyżewski JM Rektor Uniwersytetu Zielonogórskiego, Janusz Kubicki – Prezydent Miasta Zielona Góra i Tadeusz Glapa – Przewodniczący Lubuskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa.

Przyjęte przez Komitet Naukowy referaty konferencyjne będą opublikowane w czasopiśmie „Przegląd Budowlany”. Opłata konferencyjna wynosi 1600 zł, a dla uczestników nieprzekraczających 35 roku życia opłata wynosi 1000 zł.

Przewodniczący Komitetu Naukowego: Kazimierz Flaga

Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego: Jacek Korentz



www.konstrukcje-zespolone.uz.zgora.pl
Serdecznie zapraszamy do Zielonej Góry.