

# Planowanie zatrudnienia w przedsiębiorstwie budowlanym do realizacji kontraktów budowlanych

## Employment planning in a construction company for the implementation of construction contracts

dr hab. inż. Piotr Jaśkowski, prof. uczelni (ORCID: 0000-0003-1661-3373), dr hab. inż. Sławomir Biruk, prof. uczelni (ORCID: 0000-0003-4392-8426), Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska

DOI 10.5604/01.3001.0016.2709

**Streszczenie:** Podstawą opracowania planów zapotrzebowania na siłę roboczą w przedsiębiorstwie budowlanym jest plan produkcyjny, obejmujący przewidywany do realizacji portfel zleceń. Planowanie przebiegu realizacji zleceń z wykorzystaniem metod harmonogramowania pozwalających na analizę przebiegu realizacji procesów pod względem czasu i wykorzystania zasobów pozwala na ocenę wpływu wielkości zatrudnienia na terminowość realizacji poszczególnych przedsięwzięć. W artykule przedstawiono model matematyczny problemu harmonogramowania przedsięwzięcia z ustalonym terminem dyrektywnym ( zilustrowany przykładem), obejmującego procesy powtarzalne, pozwalający na określenie racjonalnego poziomu zatrudnienia brygad roboczych.

**Słowa kluczowe:** zasoby ludzkie, przedsięwzięcie budowlane, harmonogramowanie przedsięwzięć, zapotrzebowanie na zasoby ludzkie.

**Abstract:** The basis for the development of labor demand plans in a construction company is the production plan, including the expected portfolio of orders. Planning the course of order execution with the use of scheduling methods that allow for the analysis of the course of the execution of processes in terms of time and resource use allows for the assessment of the impact of the number of employees on the timeliness of the implementation of individual projects. The article presents a mathematical model of the problem of scheduling a project with a fixed directive deadline (illustrated by an example), involving repetitive processes, allowing to determine a rational level of employment of work brigades.

**Keywords:** human resources, construction project, project scheduling, demand for human resources.

## 1. Wprowadzenie

Zasoby ludzkie są traktowane jako kluczowy czynnik sukcesu i konkurencyjności. Kompetentna i odpowiednio zmotywowana kadra, zaangażowana w realizację celów przedsiębiorstwa, jest niezbędna do właściwego przygotowania produkcji budowlanej oraz jakościowo dobrego wykonania robót budowlanych, efektywnie pod względem ekonomicznym, w założonych terminach wynikających z zawartych kontraktów. Znajomość realizowanych i zakontraktowanych robót stanowi podstawę tworzenia planów zatrudnienia siły roboczej, a następnie personelu działów obsługi produkcji (administracja, finanse, przygotowanie produkcji). Istotne jest zatem rozwijanie metod wspomagających określenie racjonalnego poziomu zatrudnienia w przedsiębiorstwie, gwarantującego realizację poszczególnych przedsięwzięć budowlanych w terminach umownych.

## 2. Metody planowania zatrudnienia

Każde przedsiębiorstwo powinno poszukiwać możliwości zapewnienia sobie perspektyw rozwoju i przewagi konkurencyjnej

poprzez efektywne zarządzanie zasobami ludzkimi. Zarządzanie zasobami ludzkimi należy rozumieć jako wszechstronne działania związane z kierowaniem i rozwojem zasobów ludzkich w ramach struktury organizacji [1]. Należy zaznaczyć, że ludzie nie są zasobem, lecz dysponują zasobem niezbędnym do realizacji zadań, czyli ogółem cech i właściwości (wiedza, kwalifikacje, zdolności, umiejętności, motywacja). Zarządzanie zasobami ludzkimi w przedsiębiorstwie budowlanym jest ciągłym procesem, który obejmuje następujące etapy:

- określenie strategii personalnej – celów w tej dziedzinie, sposobów ich osiągnięcia, oraz polityki pozyskiwania, rozwoju i sterowania kadrami,
- planowanie zatrudnienia – przewidywanie potrzeb w zakresie zapotrzebowania na zasoby ludzkie,
- rekrutowanie i utrzymywanie zasobów ludzkich o odpowiednich kwalifikacjach zawodowych,
- zwalnianie pracowników.

Określanie zapotrzebowania na zasoby ludzkie, wynikające z potrzeb produkcji, jest zatem istotnym elementem zarządzania

kadrami. W przypadku gdy stan zatrudnienia jest zbyt mały, może to prowadzić do utraty potencjalnych klientów oraz braku możliwości pozyskiwania nowych (często bardziej intrygujących) zleceń i przyczyniać się do opóźnień w realizacji rozpoczętych kontraktów. Nadmierne zatrudnienie, ze względu na niewystarczające wykorzystanie siły roboczej, prowadzi do nadmiernych kosztów produkcji budowlanej.

Planowanie zatrudnienia obejmuje analizę istniejących stanowisk pracy oraz prognozowanie popytu na pracę i podaży pracowników o odpowiednich kwalifikacjach. Należy zaznaczyć, że musi ono uwzględniać nie tylko planowane zamierzenia przedsiębiorstwa, ale także zmiany w podaży i strukturze kwalifikacyjnej zasobów ludzkich na rynku pracy. Planowanie zatrudnienia jest punktem wyjścia do pozyskiwania zasobów ludzkich. W ramach działań wyrównujących podaż z zapotrzebowaniem na zasoby ludzkie, oprócz klasycznej rekrutacji nowych pracowników konieczne jest planowanie rozwoju kariery i podnoszenia kwalifikacji zatrudnionych pracowników. Planowanie zatrudnienia ma na celu dostosowanie liczby pracowników o odpowiednich kwalifikacjach do wymagań planu produkcyjnego, co zapewnia terminową realizację zleceń przy jednoczesnej redukcji kosztów zatrudnienia. Przy ocenie popytu na zasoby ludzkie stosuje się różne techniki analiz ilościowych potrzeb personalnych, polegające głównie na badaniu i szacowaniu liczby pracowników i ich kwalifikacji potrzebnych do realizacji planu produkcyjnego.

Najczęściej stosowane techniki analizy ilościowej to [1, 2]:

- ocena kierowników lub ekspertów – ocena potrzeb personalnych polega na oszacowaniu przez menedżerów kierujących zespołami niezbędnej liczby i kwalifikacji pracowników. Modyfikacją tej techniki jest metoda delficka polegająca na zbieraniu opinii grupy ekspertów;
- benchmarking – określenie zapotrzebowania na zasoby ludzkie na podstawie informacji dotyczących zatrudnienia w przedsiębiorstwach będących liderami w branży;
- szacowanie trendów pracy – opiera się na danych historycznych;
- badanie i normowanie pracy – polega na analizie zadań i niezbędnych do ich realizacji zasobów ludzkich. Wyniki normowania pracy są często wykorzystywane w innych metodach;
- modelowanie procesu pracy – polega na użyciu technik ekonometrycznych: badań operacyjnych, statystyki i symulacji do konstrukcji modeli zapotrzebowania na zasoby ludzkie i szacunkowej oceny (estymacji) na podstawie ekonometrycznych i statystycznych danych;
- metoda wskaźnikowa – wykorzystuje się różnego rodzaju wskaźniki do planowania wielkości czy struktury zatrudnienia, często określane na podstawie danych statystycznych, np. określające liczbę robotników produkcyjnych przypadających na jednostkę przerobu.

W artykule zastosowano metodę bazującą na modelowaniu przedsięwzięcia budowlanego oraz przepływu zasobów do realizacji zadań. Podejście to umożliwia nie tylko

określenie zapotrzebowania wynikającego z harmonogramu, lecz pozwala również na określenie optymalnego poziomu zatrudnienia ze względu na różne kryteria istotne dla zarządzającego przedsiębiorstwem budowlanym. Celem kadry zarządzającej przedsiębiorstwem budowlanym jest przede wszystkim zapewnienie maksymalnego wykorzystania zasobów własnych, ale w warunkach rynkowych jest bardzo trudno zachować równowagę między zdolnością produkcyjną przedsiębiorstwa a realizowanym zbiorem zleceń [3]. Równowaga ta może być osiągnięta np. poprzez właściwą strategię przetargową w celu pozyskiwania odpowiedniej liczby zleceń [4] lub zatrudnianie podwykonawców.

Efektywność działalności przedsiębiorstw budowlanych można zwiększyć poprzez: eliminację przestoju w pracy zasobów, dostosowanie liczby zasobów do wielkości frontów roboczych i harmonizację w obrębie przedsięwzięcia jak i z perspektywy przedsiębiorstwa.

### 3. Przegląd modeli wspomagających planowanie zatrudnienia

Struktura zatrudnienia (zwłaszcza pod względem ilości i kwalifikacji kadry) nie jest jednolita we wszystkich przedsiębiorstwach budowlanych. Zależy ona od wielkości przedsiębiorstwa, jego specjalizacji, zasięgu terytorialnego, stopnia uprzemysłowienia i mechanizacji robót. Właściwe planowanie zatrudnienia zasobów ludzkich w budownictwie ułatwia późniejszą alokację zasobów do wykonania zadań i harmonogramowanie realizacji przedsięwzięcia, dostarcza danych niezbędnych przy rekrutacji i zatrudnianiu pracowników oraz przyczynia się do efektywnego wykorzystania kadry [5, 6]. W budownictwie rzadko występuje równowaga pomiędzy zapotrzebowaniem na pracowników a ich podażą. Zapotrzebowanie na siłę roboczą w budownictwie ma charakter cykliczny i losowy, co może powodować braki w zatrudnieniu lub nadwyżkę pracowników [7]. Niedostateczna liczba pracowników może powodować niepodejmowanie nowych zleceń [5], wydłużenie czasu realizacji przedsięwzięć i co się z tym wiąże – konieczność zapłaty kar umownych, a nawet utratę klientów. Brak wykwalifikowanych pracowników może powodować konieczność zatrudniania pracowników o niższych kwalifikacjach, co może powodować obniżenie jakości robót, konieczność pracy w nadgodzinach w celu terminowej realizacji procesów budowlanych oraz zwiększeniem wynagrodzenia pracowników w celu ich zatrzymania [7]. Nadmiar personelu powoduje dodatkowe koszty i ostatecznie prowadzi do zmniejszenia konkurencyjności oferty przedsiębiorstwa budowlanego.

Modele prognozowania zapotrzebowania zatrudnienia pozwalają na bilansowanie popytu i podaży siły roboczej. Modele te są tworzone najczęściej na poziomie całej branży i zagregowanym (bez wyróżnienia poszczególnych specjalności zawodowych) [8, 9] oraz na poziomie poszczególnych przedsięwzięć budowlanych [10, 11, 12].

Modele tworzone na poziomie branży mogą być pomocne w prognozowaniu trendów zapotrzebowania na siłę roboczą oraz formułowania polityki kształcenia zawodowego, programów szkoleniowych i przekwalifikowujących jako reakcję na zmiany w popycie na usługi budowlane i zmiany demograficzne [13]. Najczęściej są to modele statystyczne.

W artykule [14] zaprezentowano model symulacyjny planu produkcyjnego przedsiębiorstwa budowlanego. Umożliwia on analizę wpływu poziomu dostępności brygad roboczych na czas realizacji i opóźnienia terminów rozpoczynania oraz zakończenia poszczególnych przedsięwzięć budowlanych, stanowiących jego prognozowany portfel zleceń. Analiza wyników prowadzonych badań symulacyjnych dała możliwość ustalania wielkości zatrudnienia pracowników różnych specjalności zawodowych, zapewniającego terminową realizację zleceń i jednocześnie zapewnienie wysokiego stopnia wykorzystania zasobów. Na etapie planowania strategicznego informacje te są niezbędne do dostosowania potencjału wykonawczego przedsiębiorstwa (poziomu zatrudnienia, liczby brygad roboczych) do przewidywanego w warunkach rynkowych zbioru zleceń.

Na poziomie poszczególnych przedsięwzięć najczęściej były modelowane proste zależności pomiędzy zapotrzebowaniem na siłę roboczą a kosztami budowy. Szacowanie zapotrzebowanie na robotników poszczególnych zawodów jest zazwyczaj pomijane [13]. Wyjątkiem są tu badania Bella i Brandenbura [10]. Opracowali oni model regresyjny określania wielkości zatrudnienia robotników poszczególnych specjalności zawodowych w funkcji kosztu robocizny na podstawie analizy danych z realizacji 130 przedsięwzięć drogowych. W publikacji [11] zaprezentowano model bazujący na wskaźnikach obliczonych na podstawie zależności pomiędzy poziomem zatrudnienia o ponoszonymi wydatkami w określonych fazach realizacji przedsięwzięcia. Model został opracowany na podstawie danych z 61 przedsięwzięć realizowanych w Hong Kongu i pozwala na wyznaczenie zapotrzebowania na 38 specjalności zawodowych. W pracy [12] opracowano model regresyjny prognozowania zatrudnienia czterech kategorii pracowników (kadry inżynierskiej, konsultantów, pracowników obsługi administracyjnej i robotników budowlanych). Według danych czynnikiem mającym największy wpływ na poziom zatrudnienia jest koszt realizacji przedsięwzięcia. Model zaprezentowany w [13] pozwala prognozować zapotrzebowanie na 10 grup zawodowych na podstawie (oprócz kosztu realizacji przedsięwzięcia) złożoności obiektu, warunków placu budowy i typu przedsięwzięcia. Opisane modele pozwalają na prognozowanie zapotrzebowania na siłę roboczą do realizacji określonych typów przedsięwzięć, np. przedsięwzięcia drogowe lub biurowce, jedynie na wybrane specjalności zawodowe i nie obejmują zmian technologii budowy [12]. Były one tworzone na podstawie zbioru danych obejmujących jedynie przedsięwzięcia o podobnym charakterze. Modele opisane w literaturze mają zastosowanie do rynków lokalnych,

z których pochodzą dane o zrealizowanych projektach budowlanych [11].

#### 4. Model wspomagający planowanie zatrudnienia brygad roboczych do realizacji powtarzalnych procesów

Efektywność działalności przedsiębiorstw budowlanych można zwiększyć poprzez dostosowanie liczby zasobów do przewidywanego programu produkcji i harmonizację pracy brygad w obrębie poszczególnych przedsięwzięć.

Realizacja wielu przedsięwzięć budowlanych obejmuje wykonanie procesów wielokrotnie powtarzanych na częściach obiektów (lub całych obiektach) – zwanych działkami roboczymi – w określonym porządku technologicznym [15–17]. Procesy są powierzane do wykonania brygom roboczym, odpowiednio specjalizowanym lub realizującym roboty danej branży. Najwyższy stopień harmonizacji może być uzyskany przy projektowaniu realizacji procesów wielokrotnie powtarzanych na działkach o identycznej wielkości. W praktyce względy konstrukcyjne narzucają podział realizowanych obiektów na części różniące się pracochłonnością robót, wymiarami elementów konstrukcyjnych czy zakresem robót. Ze względu na znaczące różnice pracochłonności bądź uwarunkowania techniczne oraz niezmiennie składy już zatrudnionych brygad czasy wykonania poszczególnych procesów na działkach mogą znacznie różnić się, co utrudnia harmonizację pracy brygad i zachowanie stałego rytmu pracy. Źródłem różnorodności i różnic w wydajnościach poszczególnych jednostek organizacyjnych (brygad, maszyn, zestawów maszyn) jest brak możliwości ciągłej (niedyskretnej) modyfikacji ich składu (możliwość jedynie zmiany liczby zatrudnionych zespołów roboczych). W efekcie może prowadzić to do trudności w harmonizacji pracy brygad przy ustalonych dyrektywnie terminach zakończenia realizacji przedsięwzięć bądź do wydłużania czasu ich realizacji [18]. W takim przypadku lepsze efekty organizacyjne można uzyskać zapewniając równoczesną pracę kilku brygad jednego rodzaju, lecz na innych działkach roboczych (w celu zapewnienia dla nich odrębnych frontów robót).

Rozważane zagadnienie planowania zatrudnienia będzie modelowane jako problem harmonogramowania realizacji przedsięwzięcia obejmujący, oprócz zagadnienia ustalania terminów realizacji poszczególnych procesów na wyróżnionych działkach roboczych przy ustalonym, nieprzekraczalnym terminie dyrektywnym  $T$  zakończenia kontraktu, również dobór brygad roboczych.

Realizacja przedsięwzięcia wymaga wykonania zbioru procesów  $I = \{1, 2, \dots, m\}$  przebiegających kolejno, w ustalonym porządku technologicznym, na  $n$  działkach roboczych, ze zbioru  $J$ . Terminy rozpoczynania procesów na działkach oznaczymy jako  $s_{i,j}$ .

Do realizacji każdego procesu  $i \in I$  jest określony zbiór  $B_i$

dostępnych brygad roboczych (często różniących się składem oraz wydajnością pracy). Brygada  $b \in B_i$  będzie realizować proces  $i \in I$  na działce  $j$  w czasie  $t_{i,j,b}$ . Decyzje o wyborze brygad do realizacji procesów są modelowane za pomocą zmiennych binarnych  $x_{i,j,b} \in \{0, 1\}$ . Zmienna  $x_{i,j,b}$  przyjmie wartość 1, gdy proces  $i$  na działce  $j$  będzie realizowany przez brygadę  $b \in B_i$ , a wartość 0 w przeciwnym przypadku. W celu modelowania preferencji kadry menadżerskiej co do wyboru poszczególnych brygad proponuje się dla każdej brygady przypisanie wagi  $w_b$ , którą można interpretować jako koszt stały związany z jej zorganizowaniem (np. pozyskaniem pracowników, instruktażem, wyposażeniem itd.). Pozwoli to również na możliwość modelowania decyzji o zatrudnieniu brygad podwykonawców, poprzez przypisanie im większych kosztów zatrudnienia. Zatrudnienie danej brygady będzie modelowane za pomocą zmiennej binarnej  $z_b$ , która przyjmie wartość 1, w przypadku zatrudnienia brygady  $b$  do realizacji procesu na co najmniej jednej działce roboczej (wartość 0 w przeciwnym przypadku).

Brygady nie mogą realizować procesu jednocześnie na kilku działkach roboczych. W przypadku gdy do realizacji procesu  $i$  na działce  $u$  oraz  $v$ , gdzie  $u < v$ , zostanie przydzielona ta sama brygada  $b$  ( $x_{i,u,b} = 1 \wedge x_{i,v,b} = 1$ ), należy ustalić terminy jego realizacji na tych działkach tak, aby praca na jednej działce była rozpoczynana po zakończeniu pracy na drugiej działce roboczej. Kolejność realizacji procesu  $i$  na tych działkach będzie modelowana za pomocą zmiennej binarnej  $y_{i,u,v} \in \{0, 1\}$  ( $y_{i,u,u} = 0$ ). Zmienna  $y_{i,u,v}$  przyjmie wartość 1, jeżeli proces  $i$  będzie zrealizowany najpierw na działce  $u$ , a następnie na działce  $v$ , lecz niekoniecznie bezpośrednio. Przypisanie konkretnych wartości zmiennym  $y_{i,u,v}$  umożliwi również zachowanie wymaganej kolejności zajmowania działek roboczych, gdy jest to spowodowane względami konstrukcyjnymi, technologicznymi lub organizacyjnymi.

Model matematyczny zagadnienia doboru brygad i ustalania terminów realizacji procesów przyjmuje następującą postać:

$$\min K: K = \sum_{i \in I} \sum_{b \in B_i} w_b \cdot z_b \quad (1)$$

$$d_{i,j} = \sum_{b \in B_i} t_{i,j,b} \cdot x_{i,j,b} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{b \in B_i} x_{i,j,b} = 1, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3)$$

$$s_{i,j} + d_{i,j} \leq s_{i+1,j} \quad \forall i \in I \setminus \{m\}, j \in J \quad (4)$$

$$s_{i,u} + d_{i,u} \leq s_{i,v} + M \cdot (1 - y_{i,u,v}) + M \cdot (2 - x_{i,u,b} - x_{i,v,b}) \quad (5)$$

$$\forall i \in I, \forall b \in B_i, \forall u \in J, \forall v \in J, u < v$$

$$s_{i,v} + d_{i,v} \leq s_{i,u} + M \cdot y_{i,u,v} + M \cdot (2 - x_{i,u,b} - x_{i,v,b}) \quad (6)$$

$$\forall i \in I, \forall b \in B_i, \forall u \in J, \forall v \in J, u < v$$

$$s_{m,j} + d_{m,j} \leq T, \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} x_{i,j,b} \leq M \cdot z_b, \quad \forall i \in I, \forall b \in B_i \quad (8)$$

$$s_{i,j} \geq 0, \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (9)$$

$$x_{i,j,b} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall b \in B_i \quad (10)$$

$$y_{i,u,v} \in \{0, 1\}, \quad \forall i \in I, \forall u \in J, \forall v \in J, u < v \quad (11)$$

gdzie:

$M$  – dostatecznie duża liczba.

Funkcja celu (1) umożliwi minimalizację łącznych kosztów stałych zatrudnienia brygad, ale również liczbę brygad przydzieloną do realizacji kolejnych procesów. Czas realizacji  $d_{i,j}$  każdego procesu na działce wynika z dokonanego przydziału brygady do jego wykonania (zależność 2), przy czym na danej działce może go wykonywać tylko jedna brygada (równanie 3). Spełnienie ograniczenia (4) pozwala na zachowanie kolejności technologicznej procesów na działkach roboczych, natomiast (5) i (6) – uniemożliwia równoczesną pracę tej samej brygady na dwóch frontach robót. Przedsięwzięcie musi zakończyć się przed terminem dyrektywnym (nierówność 7). Ponadto muszą być spełnione warunki brzegowe (9)–(11).

Nierówność liniowa (8) modeluje następującą implikację: jeżeli brygada  $b$  realizuje proces  $i$  na co najmniej jednej działce roboczej, to zmienna  $z_b$  przyjmuje wartość 1 (i wartość 0 w przeciwnym przypadku).

Zapis modelu matematycznego za pomocą zależności liniowych pozwala na zastosowanie do jego rozwiązania dostępnych powszechnie na rynku solverów np. Lingo, GAMS, Lp\_Solve itd.

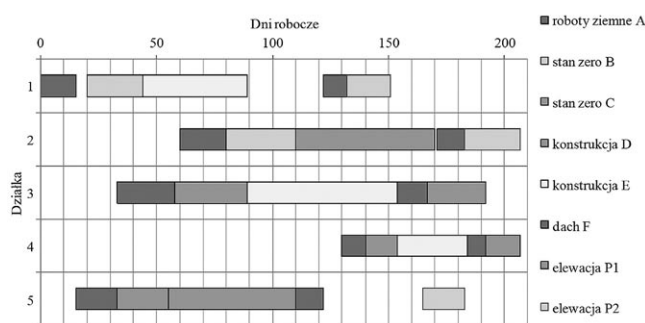
### Przykład

Dane o czasach realizacji poszczególnych procesów na działkach roboczych (5 obiektach) przykładowego przedsięwzięcia budowlanego zestawiono w tabeli 1. Uwzględniono w przypadku robót konstrukcyjnych (stan surowy) oraz fundamentów i stanu zerowego możliwość zatrudnienia po dwie brygady robocze. Podobnie w przypadku robót elewacyjnych analizowana jest możliwość równoczesnej pracy dwóch podwykonawców. Wagi przypisane poszczególnym brygadam, które mogą pracować równolegle, realizując ten sam proces, podano również w tabeli 1.

Model matematyczny dla danych z przykładu rozwiązano z wykorzystaniem programu Lingo 14.0. Najkrótszy czas realizacji przedsięwzięcia (207 dni) uzyskano przy zatrudnieniu wszystkich 8 brygad wyszczególnionych w tabeli 1. Brygada B będzie zatrudniona do realizacji robót stanu zero na obiekcie 1 i 2, brygada C – na obiektach 3, 4 i 5. Konstrukcję obiektów 2 i 5 będzie wykonywać brygada D, a pozostałych brygada E. Podwykonawca P1 wykona elewację budynków 3 i 4, podwykonawca P2 budynków 1, 2 i 5. Harmonogram realizacji procesów dla najwcześniejszych

**Tabela 1.** Czasy realizacji procesów oraz wagi dla brygad roboczych

Lp.	Proces	Oznaczenie brygady	Czas realizacji procesu na działce roboczej [zm]:					Waga dla brygady
			1	2	3	4	5	
1	Roboty ziemne	A	15	20	25	10	18	—
2	Stan zero	B	24	30	35	15	25	1
		C	22	28	31	14	22	2
3	Konstrukcja obiektu	D	50	60	70	35	55	1
		E	45	55	65	30	50	2
4	Dach	F	10	12	13	8	12	—
5	Elewacja	P1	20	25	25	15	20	1
		P2	19	24	23	14	18	1

**Rys. 1.** Harmonogram realizacji przedsięwzięcia (przykład)

terminów ich rozpoczynania dla tego rozwiązania przedstawiono na rysunku 1. Istnieje możliwość redukcji przestoju w pracy brygad poprzez zmianę terminów realizacji procesów na działkach roboczych (w ramach zapasów czasu). Minimalną wartość funkcji celu (1) uzyskano przy dyrektywnym czasie realizacji przedsięwzięcia wynoszącym 324 dni i zatrudnieniu brygad, którym przypisano wagi równe 1. Zatrudnienie dodatkowych brygad roboczych do równoległej realizacji najbardziej pracochłonnych procesów umożliwiło w przykładzie redukcję czasu realizacji kontraktu o ponad 30% (117 dni).

## 5. Podsumowanie

Powszechnie w budownictwie zatrudniane są brygady o stałej liczebności i określonej wydajności. Z tego względu trudno jest zapewnić pełną synchronizację ich pracy. Różnice w czasach wykonywania kolejnych procesów, zwykle na działkach roboczych różnej wielkości, w praktyce są niwelowane poprzez zatrudnianie kilku równocześnie pracujących brygad, lecz na innych częściach obiektów. W artykule podjęto zatem problem harmonogramowania procesów powtarzalnych, w celu dotrzymania terminu dyrektywnego, zakładając różną pracochłonność robót na poszczególnych działkach roboczych, brak możliwości modyfikacji składów brygad roboczych, możliwość równoległej pracy brygad tej samej specjalności lub branży.

Przedsiębiorstwo musi dążyć, aby osiągać cele sformułowane dla poszczególnych przedsięwzięć (zleceń), mierzone

w aspekcie czasu, kosztu i jakości. Najłatwiej jest cele te osiągnąć, wykorzystując zasoby własne przedsiębiorstwa i ewentualnie sprawdzonych podwykonawców. Pozyskiwanie zasobów na rynku jest utrudnione i obciążone ryzykiem braku terminowości realizacji robót i ich złej jakości. Stąd też wykonawca powinien starać się zapewnić sobie taki poziom zatrudnienia pracowników i posiadanego sprzętu oraz wyposażenia, który umożliwi sprawną realizację robót, a podzlecenie robót i pozyskiwanie pracowników sezonowych ograniczyć do prac specjalistycznych. Musi on zapewniać przede wszystkim najwyższy stopień wykorzystania zasobów własnych przedsiębiorstwa i terminową realizację zleceń przedsiębiorstwa.

**Badania były sfinansowane w ramach grantów i funduszy: FN-06, FN-10, FD-20/IL-4/005, FD-20/IL-4/026.**

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Armstrong M., Taylor S., Zarządzanie zasobami ludzkimi, Wolters Kluwer Polska, 2016
- [2] Gajda J., Planowanie kadr dla sprawnego funkcjonowania organizacji, Trends in Education 6(1)2013
- [3] Shi J. J., Halpin D.W., Enterprise resource planning for construction business management, Journal of Construction Engineering and Management 129(2)2003
- [4] Biruk S., Jaśkowski P., Czarnigowska A., Modeling contractor's bidding decisions Procedia Engineering 182/2017
- [5] Wong J. M. W., Chan A. P. C., Chiang Y. H., A critical review of forecasting models to predict manpower demand, The Australian Journal of Construction Economics and Building 4(2)2004
- [6] Ashiru A. R., Ashiru A. L., The sustainability of human resource planning for construction projects, MATEC Web of Conferences 258/2019
- [7] Ho P. H. K., Forecasting construction manpower demand by gray model, Journal of Construction Engineering and Management 136(12)2010
- [8] Wong J. M. W., Chan A. P. C., Chiang Y. H., Forecasting construction manpower demand: a vector error correction model, Building and Environment 42/2007
- [9] Vereen S. C., Rasdorf W., Hummer J. E., Application and results of a skilled labor demand forecast model for the US construction industry, International Journal of Engineering Science Invention 5(10)2016
- [10] Bell L. C., Brandenbur S. G., Forecasting construction staffing for transportation agencies, Journal of Management in Engineering 19(3)2003
- [11] Chan A. P. C., Chiang Y. H., Mak S. W. K., Choy L. H. T., Wong J. M. W., Forecasting the demand for construction skills in Hong Kong, Construction Innovation 6/2006
- [12] Agarwal A. L., Rajput B. L. E., Mangesh E. S., Model formulation to estimate manpower demand for the real-estate construction projects in India Organization, Technology and Management in Construction an International Journal 5(2)2013
- [13] Wong J. M. W., Chan A. P. C., Chiang Y. H., Modeling and forecasting construction labor demand: multivariate analysis, Construction Engineering and Management 134(9)2008
- [14] Biruk S., Jaśkowski P., Maciaszczyk M., Conceptual framework of a simulation-based manpower planning method for construction enterprises, Sustainability 14/2022
- [15] Photios G. I., Yang I. T., Repetitive scheduling Method: requirements, modeling, and implementation, Journal of Construction Engineering and Management 142(5)2016
- [16] Fan S.-L., Sun K.-S., Wang Y.-R., GA optimization model for repetitive projects with soft logic, Automation in Construction 21/2012
- [17] Bożejko W., Hejducki Z., Wodecki M., Flowshop scheduling of construction processes with uncertain parameters, Archives of Civil and Mechanical Engineering 19(1)2019
- [18] Biruk S., Jaśkowski P., The work continuity constraints problem in construction projects' network models, Archives of Civil Engineering 55(1)2009