DOI: 10.17512/bozpe.2019.1.15

Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym
Construction of optimized energy potential

ISSN 2299-8535 e-ISSN 2544-963X

Zarządzanie zadaniami pracowników w branży budowlanej

Marek Krynke[1] (*orcid id: 0000-0003-4417-1955*)
[1] Politechnika Częstochowska, Wydział Zarządzania

Streszczenie: Właściwa organizacja pracy polega na takim ustawieniu przebiegu pracy, aby przy najmniejszym nakładzie pracy człowieka lub urządzeń uzyskiwać maksymalne rezultaty działania. Artykuł prezentuje problem przydziału personelu, który występuje w rzeczywistej firmie świadczącej usługi budowlane. Sformułowano model matematyczny dla tego zagadnienia. Przedstawiono algorytm rozwiązujący problem alokacji personelu. Zaproponowana analiza stanowi punkt wyjścia do określenia możliwości usługowych oraz obciążenia każdego pracownika, co jest szczególnie istotne w przypadku stosowania pracy wielostanowiskowej.

Słowa kluczowe: organizacja pracy, roboty budowlane, programowanie liniowe

Użytkowanie treści artykułu tylko w oparciu o licencję Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0

Proszę cytować ten artykuł w następujący sposób:
M. Krynke, Zarządzanie zadaniami pracowników w branży budowlanej, Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym, vol. 8, 1, 2019, 137-145, DOI: 10.17512/bozpe.2019.1.15

Wprowadzenie

Właściwa organizacja pracy polega na takim ustawieniu przebiegu pracy, aby przy najmniejszym nakładzie pracy i środków technicznych oraz najmniejszej stracie czasu uzyskiwać maksymalne rezultaty działania. Źle zorganizowana praca prowadzi do niepotrzebnego zużycia środków produkcji oraz pracy człowieka, nie przynosząc efektów ekonomicznych współmiernych do poniesionych nakładów, a także nie przyczyniając się do stworzenia optymalnych warunków dla pracującego człowieka, co powinno przekładać się na humanizację pracy (Klimek i in., 2011).

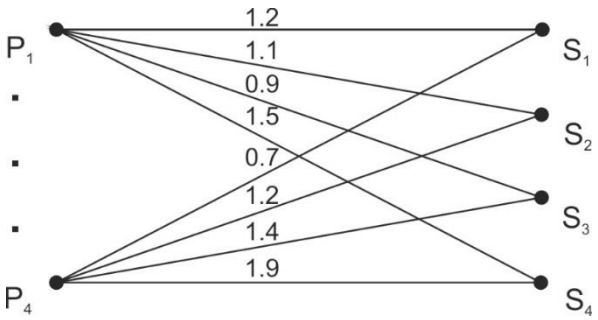
Problemy planowania produkcji budowlanej mogą być różne. W planowaniu ustalamy najkorzystniejsze rozwiązania organizacyjne współpracujących ze sobą środków pracy (Krasulak i in., 2018), harmonizujemy wykonanie zadań z bilansowaniem potrzeb i dostępności zasobów (Drljača, 2019; Grzelczak, 2018), oceniamy

koszty wykonania prac (Marcinkowski, 2013), analizujemy ryzyka (Brózda i Selejdak, 2018) itd. W artykule skupiono się na problemie alokacji pracowników do wykonywanych przez nich zadań ze względu na ich koszty pracy. Jest to jeden z podstawowych problemów planowania produkcji budowlanej.

1. Zagadnienie alokacji pracowników do stanowisk pracy

Przydział pracowników do stanowisk pracy to ważne zagadnienie optymalizacyjne, które polega na delegowaniu pracowników do poszczególnych stanowisk (zadań), w taki sposób, aby koszt realizacji zadań był minimalny lub łączna wydajność wszystkich pracowników była maksymalna. Przy alokacji powinny być uwzględnione cechy pracownika, tj. efektywność pracy, umiejętności, doświadczenie itp. Kryterium oceny takiego przydziału jest np. osiągnięcie maksymalnej wydajności personelu lub obsadzenie wszystkich miejsc pracy przy uwzględnieniu uprawnień, umiejętności pracowników (Knop, 2015).

Zagadnienie przydziału pracowników do stanowisk przedstawia się jako graf dwudzielny (rys. 1), w którym jego rozłączne części to zbiór zawierający węzły reprezentujące pracowników i zbiór zawierający węzły reprezentujące stanowiska (Kozioł-Kaczorek i Pietrych, 2016). Między pracownikami a stanowiskami występują ważone połączenia. Wagi połączeń pracowników ze stanowiskami określają produktywność, wydajność lub koszt pracownika przy wykonywaniu zadań na określonym stanowisku (Krynke i Mielczarek, 2018).



Rys. 1. Graf dwudzielny dla problemu alokacji n = 4 pracowników P do m = 4 stanowisk S (opracowanie własne)

Model matematyczny klasycznego problemu alokacji można przedstawić jako zagadnienie minimalizacji funkcji kosztu F_c (1) lub maksymalizacji funkcji wydajności F_w (2):

$$F_c = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij} \rightarrow \min \tag{1}$$

$$F_w = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} w_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \tag{2}$$

gdzie:
x_{ij} - zmienna decyzyjna, zerojedynkowa, wskazująca przydział lub brak przydziału *i*-tego pracownika do *j*-tego stanowiska,
c_{ij} - jednostkowy koszt pracy *i*-tego pracownika na *j*-tym stanowisku,
w_{ij} - jednostkowa wydajność pracy *i*-tego pracownika na *j*-tym stanowisku,
n - liczba pracowników,
m - liczba stanowisk pracy.

2. Problem badawczy

Pewna firma usług budowalnych musi zaplanować swoją miesięczną działalność tak, aby uzyskać jak największy zysk poprzez minimalizację kosztów pracy. Do dyspozycji ma następujące zlecenia na usługi wykończeniowo-budowlane:
Z1 - układanie płytek ceramicznych,
Z2 - układanie paneli podłogowych,
Z3 - wykonanie gładzi gipsowej,
Z4 - malowanie ścian i sufitów,
Z5 - tapetowanie ścian,
Z6 - wykonanie sufitów podwieszanych.

Aby opisać daną sytuację modelem matematycznym, należy znaleźć sposób, w jaki scharakteryzować zadania za pomocą liczb. Istotnymi parametrami są wynagrodzenie pracownika oraz czas potrzebny na wykonanie określonego zadania (tab. 1).

Tabela 1. Liczba jednostek pracy wymagana przy danym zleceniu oraz wynagrodzenie za jednostkę pracy dla danego zlecenia (opracowanie własne)

	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Wymagana liczba jednostek pracy, m^2	dowolna	300	500 (50% całości zlecenia)	500	100	50
Wynagrodzenie za jednostkę zlecenia zł/m^2	60	30	30	14	28	100
Wydajność godzinowa, m^2/h	1	1,67	2	5	2,5	0,7
Wymagana liczba roboczogodzin, h	dowolna	150	250 (50% całości zlecenia)	100	40	100
Przychody brutto za roboczogodzinę zł	60	50	60	70	70	70

W firmie pracuje 5 pracowników. Ich charakterystyki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wymiar czasu pracy oraz kompetencje pracowników (opracowanie własne)

Daniel	Początkujący pracownik, niewielkie doświadczenie przy układaniu paneli podłogowych oraz malowaniu ścian. Zatrudniony na pełny etat
Bartek	Pracownik z niedużym stażem pracy, doświadczenie w różnych pracach wykończeniowych. Zatrudniona na pełny etat
Cezary	Pracownik budowalny z dużym stażem pracy. Zawodowy malarz, doświadczenie w układaniu płytek ceramicznych oraz paneli podłogowych. Zatrudniony na pół etatu, w razie potrzeby gotowy wziąć nadgodziny
Henryk	Doświadczony pracownik budowlany. Bardzo duże doświadczenie w wykonywaniu gładzi gipsowych. Zatrudniany na umowę zlecenie, w razie potrzeby gotowy wziąć nadgodziny
Eugeniusz	Pracownik z długim stażem. Główna specjalizacja to klejenie tapet. Zatrudniony na pół etatu, w razie potrzeby gotowy wziąć nadgodziny

Czas pracy i wynagrodzenie pracowników można jednoznacznie opisać liczbowo. Trudniejszym zagadnieniem jest ocena efektywności pracy. Rozwiązaniem tego problemu jest określenie współczynników efektywności danego pracownika pracującego przy określonym zadaniu. W przypadku zadań, które były już wykonywane przez zatrudnionych, określenie takich współczynników będzie proste i dość dokładne. Jednak w przypadku nowego zadania bądź pracownika konieczne będzie wstępne dobranie współczynników wydajności oraz późniejsza ich korekta. W tabeli 3 przedstawiono macierz preferencji oraz wynagrodzenie pracowników.

Tabela 3. Liczba jednostek pracy wymagana przy danym zleceniu oraz wynagrodzenie za jednostkę pracy dla danego zlecenia (opracowanie własne)

	Daniel	Bartek	Cezary	Henryk	Eugeniusz
Wymiar czasu pracy, h	140	140	> 70	> 0	> 70
Wynagrodzenie za roboczogodzinę, zł	20	25	50	60	60
z_1	0,7	0,9	1,1	1,2	0,5
z_2	0,9	1,1	1,2	0,9	0,6
z_3	0,7	0,8	1,1	1,5	0,5
z_4	0,9	1,0	1,5	1,3	0,6
z_5	0,4	0,8	0,6	0,7	1,5
z_6	0,5	1,1	0,8	1,0	0,5

Miesięczny całkowity zysk z realizacji zamówień projektu jest opisany jako:

$$F = \sum_{i=1}^{5} \sum_{j=1}^{6} h_{ji} \cdot \left(z_{ji} \cdot p_j - w_i \right) \rightarrow \max \tag{3}$$

gdzie:
h_{ji} - liczba możliwych godzin pracy pracownika *i* dla zadania *j*,
z_{ji} - współczynnik wydajności pracownika *i* wykonującego zadanie *j*,
p_j - koszt roboczogodziny (przychód) dla zadania *j*,
w_i - wynagrodzenie za przepracowaną roboczogodzinę dla pracownika *i*.

Jest to funkcja, która powinna zostać zmaksymalizowana. Należy tutaj uwzględnić dostępne godziny pracy, które dla poszczególnych pracowników są opisane następującymi warunkami wynikającymi z umowy o pracę:

$$\begin{aligned} &h_{11} + h_{21} + h_{31} + h_{41} + h_{51} + h_{61} = 140 \\ &h_{12} + h_{22} + h_{32} + h_{42} + h_{52} + h_{62} = 140 \\ &h_{13} + h_{23} + h_{33} + h_{43} + h_{53} + h_{63} > 70 \\ &h_{14} + h_{24} + h_{34} + h_{44} + h_{54} + h_{64} > 0 \\ &h_{15} + h_{25} + h_{35} + h_{45} + h_{55} + h_{65} > 70 \end{aligned} \tag{4}$$

oraz warunkami wynikającymi z dostępności możliwych nadgodzin:

$$\begin{aligned} &h_{13} + h_{23} + h_{33} + h_{43} + h_{53} + h_{63} < 140 \\ &h_{14} + h_{24} + h_{34} + h_{44} + h_{54} + h_{64} < 140 \\ &h_{15} + h_{25} + h_{35} + h_{45} + h_{55} + h_{65} < 140 \end{aligned} \tag{5}$$

Jednocześnie muszą zostać spełnione również warunki wynikające z typu zlecenia, czyli ograniczenia jednostek pracy (a_{ij} - elementy macierzy zawierającej współczynniki ograniczeń):

$$\begin{aligned} &h_{11}a_{11} + h_{12}a_{12} + h_{13}a_{13} + h_{14}a_{14} + h_{15}a_{15} \geq 0 \\ &h_{21}a_{21} + h_{22}a_{22} + h_{23}a_{23} + h_{24}a_{24} + h_{25}a_{25} = 150 \\ &h_{31}a_{31} + h_{32}a_{32} + h_{33}a_{33} + h_{34}a_{34} + h_{35}a_{35} \geq 250 \\ &h_{31}a_{31} + h_{32}a_{32} + h_{33}a_{33} + h_{34}a_{34} + h_{35}a_{35} \leq 500 \\ &h_{41}a_{41} + h_{42}a_{42} + h_{43}a_{43} + h_{44}a_{44} + h_{45}a_{45} \leq 100 \\ &h_{51}a_{51} + h_{52}a_{52} + h_{53}a_{53} + h_{54}a_{54} + h_{55}a_{55} \leq 40 \\ &h_{61}a_{61} + h_{62}a_{62} + h_{63}a_{63} + h_{64}a_{64} + h_{65}a_{65} \leq 100 \end{aligned} \tag{6}$$

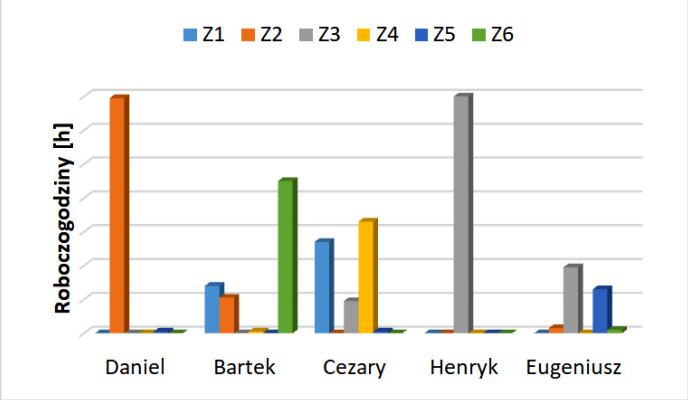
Tak zdefiniowane zadanie można rozwiązać w środowisku Octave (Nagar, 2018). Pakiet ten jest środowiskiem obliczeniowym, umożliwiającym analizę numeryczną i symboliczną. Dzięki zastosowaniu wydajnych algorytmów numerycznych pozwala na szybkie i bezbłędne rozwiązywanie problemów naukowych i inżynieryjnych. GNU octave rozprowadzany jest na zasadach licencji GNU GPL. Octave jest wolnym odpowiednikiem środowiska MATLAB, który jest w większości z nim kompatybilny.

Problem przydzielania pracowników do poszczególnych zadań rozwiązano za pomocą komendy *glpk*. GNU Linear Programming Kit (GLPK) to pakiet oprogramowania przeznaczony do rozwiązywania wielkoskalowego programowania liniowego (LP), mieszanego programowania całkowitoliczbowego (MIP) i innych powiązanych problemów (Piechna, 2012).

GLPK wykorzystuje poprawioną metodę simpleksową i metodę pierwotnego podwójnego punktu wewnętrznego dla problemów niecałkowitych oraz algorytm rozgałęziony i związany z mieszanymi cięciami całkowitymi Gomory'ego dla (mieszanych) problemów liczb całkowitych.

3. Analiza wyników

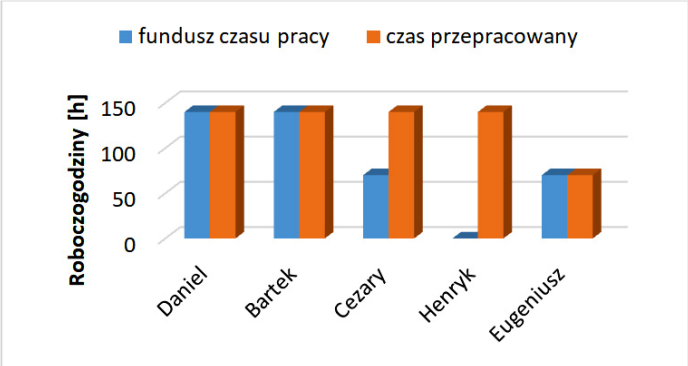
Po dokonaniu obliczeń uzyskano optymalne wartości godzin pracy zatrudnionych pracowników budowlanych. Na rysunku 2 przedstawiono optymalny rozkład przydzielenia poszczególnych zadań dla pracowników ze względu na maksymalizację zysku z ich pracy. Dla zaplanowanego procesu realizacja zadania Z1 będzie najskuteczniejsza przez Cezarego oraz Bartka. Zadanie drugie najefektywniej wykona Daniel z pomocą Bartka przy niewielkim udziale Eugeniusza. Do realizacji zadania 3 zostali przydzieleni Henryk, Eugeniusz oraz Cezary. Z kolei realizacja zadania Z4 będzie najskuteczniejsza tylko przez Cezarego. Podobnie jest w przypadku zadań 5 i 6, gdzie najlepiej wykonają je samodzielnie Eugeniusz oraz Bartek.



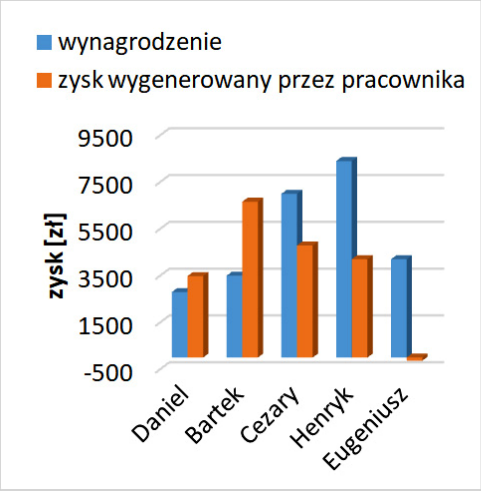
Rys. 2. Optymalne przydzielanie zadań poszczególnym pracownikom (opracowanie własne)

Na rysunku 3 przedstawiono wykorzystanie funduszu czasu przez poszczególnych pracowników. Przedstawiono tło dostępnych standardowych godzin pracy. Widać, że aby wykonać powierzone zadania, Cezary musi pracować w nadgodzinach. Henryk zatrudniony jest na umowę zlecenie, przy czym ustalono, że jego maksymalny czas pracy nie może przekroczyć pełnego etatu.

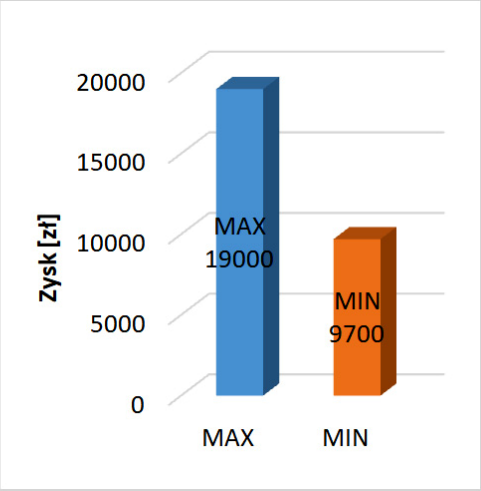
Na rysunku 4 przedstawiono zysk wygenerowany przez poszczególnych pracowników. Interesująca sytuacja miała miejsce w przypadku Eugeniusza. Ze względu na swoje doświadczenie najlepiej wykona zadanie 5, tj. tapetowanie ścian. Zostaje ono zakończone po ok. 26 godzinach jego pracy. Mając popisaną umowę na pół etatu (70 h), musi mieć zapewnioną pracę na pozostałe godziny, które poświęca na wykonanie zadań 2, 3 i 6. Jako pracownik z dużym doświadczeniem przy klejeniu tapet ma stosunkowo wysokie wynagrodzenie. Tak bardzo, że wykonanie powierzonych mu pozostałych zadań przynosi straty.



Rys. 3. Wykorzystanie funduszu czasu przez poszczególnych pracowników (opracowanie własne)



Rys. 4. Zysk generowany przez poszczególnych pracowników (opracowanie własne)



Rys. 5. Całkowity zysk z realizacji programu zleceń w przypadku kryterium maksymalizacji i minimalizacji (opracowanie własne)

Na rysunku 5 przedstawiono wykres porównujący całkowity koszt realizacji planowanych zleceń dla dwóch skrajnych przypadków. Pierwsza sytuacja dotyczy optymalnego rozwiązania, gdy zyski podlegają maksymalizacji. Dla porównania, drugi pokazuje sytuację, w której zyski zostały zminimalizowane. Zestawienie pokazuje, że w przypadku najbardziej niekorzystnego przydzielania zadań dla pracowników, w tej sytuacji, doprowadzi do zmniejszania prawie dwukrotnie zysków.

Podsumowanie

Problemy związane z wyznaczeniem pracowników do wykonania określonych robót są bardzo często bagatelizowane. Najczęściej wykonawcy budowlani chcą

wykonać zadania szybko, nie zastanawiając się przy tym nad globalnymi skutkami takiego postępowania. Dążenie do skracania cykli realizacyjnych, tak często podejmowane w różnych projektach, w sensie globalnym jest nieracjonalne. Przytoczony przykład pokazuje, że w przypadku najbardziej niekorzystnego przydzielania zadań dla pracowników doprowadzi to do znacznego zmniejszania zysków. Warto wspomnieć także, że może wystąpić sytuacja, w której optymalny przydział zadań powoduje, że niektórzy pracownicy przynoszą stratę (sytuacja Eugeniusza w przytoczonych analizach). Jednak w globalnym rozrachunku i tak jest to korzystne dla realizacji określonych zleceń.

Przydział pracowników do wykonywanych przez nich zadań spełnia zasadniczą rolę zarówno w zarządzaniu całym przedsiębiorstwem, jak i pracą człowieka. Umożliwia ustalenie planowanych zadań poszczególnych stanowisk, obliczenie zapotrzebowania na pracowników z uwzględnieniem ich umiejętności i kwalifikacji, obliczanie kosztów robocizny, określanie wydajności pracy i jej dynamiki. Takie postępowanie istotne jest dla działalności firm budowlanych prowadzonych w zgodzie z zasadą zrównoważonego rozwoju, świadczy o świadomym gospodarowaniu zasobami przedsiębiorstwa i odpowiedzialności za stan środowiska wobec przyszłych pokoleń. To jednocześnie dobra metoda optymalizacji kosztów oraz istotny aspekt wizerunkowy przedsiębiorstwa. Aby to osiągnąć, należy przyjąć kompleksowe podejście do planowania, które uwzględnia wszystkie aspekty zrównoważonego rozwoju, od minimalizacji zużycia surowców po optymalne wykorzystanie nakładów pracy.

Bibliografia

Brózda, K. & Selejdak, J. (2018) *The computational analysis of the crack width of beams reinforced with CFRP and steel bars*. MATEC Web of Conferences, Vol. 183, 4 s.

Drljača, M. (2019) *Reversible Supply Chain in function of competitiveness*. Production Engineering Archives, 22, 30-35.

Grzelczak, A. (2018) *Norma czasu a zarządzanie produkcją w aspekcie pracy wielostanowiskowej*. W: *Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji*, Knosala R. (red.), Oficyna Wydawnicza Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 432-440.

Klimek, M. & Łebkowski, P. (2011) *Algorytm dla problemu losowego przydziału personelu*. Logistyka, 2, 299-306.

Knop, K. (2015) *Statistical analysis of responses concerning the importance of human and production or services issues in various companies*. Production Engineering Archives, 7, 40-44.

Kozioł-Kaczorek, D. & Pietrych, Ł. (2016) *Grafy a teoria stabilnych alokacji*. Ekonometria Econometrics, 3(53), 102-114.

Krasulak, K., Brózda, K. & Selejdak, J. (2018) *Robotyzacja w budownictwie*. W: *Zrównoważone budownictwo - materiały i technologie*, Ulewicz, M., Major, M. (red.), Wydawnictwo Wydziału Zarządzania Politechniki Częstochowskiej, 73-82.

Krynke, M. & Mielczarek, K. (2018) *Applications of linear programming to optimize the cost-benefit criterion in production processes*. MATEC Web of Conferences, Vol. 183, 6 s.

Marcinkowski, R. (2013) *Planowanie organizacji robót budowlanych na podstawie analizy nakładów pracy zasobów czynnych*. Budownictwo i Architektura, 12(1), 39-46.

Nagar, S. (2018) *Introduction to Octave: For Engineers and Scientists*. New York, Apress.

Piechna, A. (2012) *Zadanie programowania liniowego w środowisku GNU Octave*. Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie, 55, 58-62.

Managing the tasks of employees in the construction industry

Abstract: The proper organization of work is to set the workflow to the slightest effort of man and machine operation to obtain maximum results. The article presents the problem of the allocation personnel, that occurs in a real company that provides construction services. The mathematical model for this issue was formulated. An algorithm solving the problem of personnel allocation is presented. The proposed analysis is a starting point for determining the production capacity and load of each workstation, which is particularly important when using multi-station work.

Keywords: work organization, construction works, linear programming