

FRAŃKIEWICZ Rafał<sup>1</sup>  
KRZEMIŃSKI Michał<sup>2</sup>

### **ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA W HARMONOGRAMOWANIU BUDOWLANYM REGUŁ SZEREGOWANIA ZADAŃ STOSOWANYCH W PRODUKCJI PRZEMYSŁOWEJ**

*Niniejsza praca ma na celu przedstawienie metod optymalizacji harmonogramów z naciskiem na sprawdzenie przydatności reguł szeregowania zadań stosowanych w potokowym systemie produkcji. Metody te od lat z powodzeniem znajdują zastosowanie w produkcji przemysłowej, jednak przemysł budowlany jest szczególnym jej przypadkiem i żadna z tych metod nie może zostać przeniesiona na to środowisko bezpośrednio. Niemniej jednak, wyniki tej pracy potwierdzają słuszność zastosowania niektórych z nich przy oczywistych dodatkowych obostrzeniach i komentarzach.*

### **ANALYSIS OF TASKS ORDERING METHOD APPLIED IN INDUSTRIAL PRODUCTION FOR SCHEDULING OF CONSTRUCTION PROJECTS**

*This paper presents methods of schedule optimizations with use of the task scheduling for flow type production. Those methods are successfully used for industrial production but due to the specifics of construction industry, they cannot be directly applied. Results of this analysis confirmed, that task ordering methods can be used for construction projects with relevant boundaries and comments.*

#### **1. WSTĘP**

Harmonogram realizacji robót budowlanych jest jednym z podstawowych narzędzi organizacyjnych dla każdego przedsięwzięcia budowlanego. Poprawność przyjętych w nim założeń ma bezpośredni wpływ na czas trwania cyklu budowlanego oraz wiele aspektów ekonomicznych wykonywania prac budowlanych.

Z punktu widzenia inwestora harmonogram powinien zakładać jak najkrótszy czas wykonania. Dla inwestora bowiem, w trakcie realizacji budowy inwestycja nie przynosi żadnych zysków a generuje jedynie koszty, których część stanowi środki przekazywane wykonawcy w miarę postępu robót, a część jest tak zwanym kosztem kapitału zależnym od

---

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, 00-637 Warszawa, Al. Armii Ludowej 16,  
E – mail: frackiewicz.r@gmail.com

<sup>2</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, 00-637 Warszawa, Al. Armii Ludowej 16,  
E – mail: m.krzeminski@il.pw.edu.pl, tel.: +48 22 234 62 59

sposobu i czasu finansowania. Od momentu zakończenia budowy, inwestycja staje się aktywną częścią biznesu i zaczyna spełniać swoje podstawowe założenia. W tym przynosić zyski lub środki na spłatę zaciągniętych kredytów.

Dla wykonawcy dobrze zaprojektowany harmonogram powinien odpowiadać strukturze organizacyjnej przedsiębiorstwa oraz jego możliwościom finansowym. Wykonanie budowy w krótszym czasie przekłada się między innymi na wysokość środków, którymi wykonawca powinien dysponować w trakcie realizacji robót. Zwiększenie tempa realizacji wymaga przede wszystkim zwiększenia zatrudnienia. W budżecie należy więc zabezpieczyć odpowiednią ilość środków na zobowiązania finansowe w stosunku do pracowników. Większa liczba osób pracujących na budowie wymaga większego zaplecza socjalnego, którego utrzymanie należy również wziąć pod uwagę. Osiągnięcie zamierzonego przerobu nie będzie jednak możliwe przy utrzymaniu tej samej wielkości stanowisk składowych dla wbudowywanych materiałów. Co oznacza nie tylko zabezpieczenie kolejnych środków finansowych na ich zakup ale również, w przypadku gdy inwestor nie dysponuje wystarczająco dużym placem budowy, konieczność wynajęcia dodatkowego placu. W zależności od warunków te i inne czynniki wpływają finalnie na wysokość oferty składanej inwestorowi.

Powyższe przykłady są jedynie zarysem zagadnień, które należy wziąć pod uwagę planując przedsięwzięcie budowlane. Cele inwestora i wykonawcy bywają różne a samemu procesowi budowlanemu towarzyszy wiele aspektów technicznych i organizacyjnych. Projektowanie realizacji budowy jest zatem dążeniem do kompromisu pomiędzy stronami procesu, a także możliwymi rozwiązaniami. Ostatecznie, każda przyjęta strategia organizacyjna bazuje na stworzonym dla potrzeb budowy harmonogramie.

Niniejsza praca ma na celu przedstawienie metod optymalizacji harmonogramów z naciskiem na sprawdzenie przydatności metod szeregowania zadań w potokowym systemie produkcji. Metody te od lat z powodzeniem znajdują zastosowanie w produkcji przemysłowej, jednak przemysł budowlany jest szczególnym jej przypadkiem i żadna z tych metod nie może zostać przeniesiona na to środowisko bezpośrednio. Niemniej jednak, wyniki tej pracy potwierdzają słuszność zastosowania niektórych z nich przy oczywistych dodatkowych obostrzeniach i komentarzach.

Algorytmy i reguły szeregowania zadań zostaną szczegółowo omówione na podstawie harmonogramu robót wykończeniowych dla przykładowej galerii handlowej. Niezbędne obliczenia zostaną wykonane przy pomocy programu wspomagającego harmonogramowanie w produkcji przemysłowej – LEKIN@[4]. Na podstawie otrzymanych z programu wyników i analizie powstanie harmonogram optymalny.

## **2. POTOKOWE METODY REALIZACJI ROBÓT BUDOWLANYCH**

Potokowe metody realizacji robót budowlanych są zaczerpnięte z przemysłowych metod produkcji taśmowej. Analogia polega na tym, że brygady robocze są rozpatrywane jak maszyny w fabryce a kolejność prac przez nie wykonywanych ma określoną technologicznie kolejność[1]. Założenia te powodują, że jedynym modyfikacjom może podlegać kolejność poszczególnych działek roboczych.

Podstawową zaletą organizacyjną wynikającą z zastosowania modelu pracy równomiernej jest uzyskanie pożądaných właściwości organizacyjnych takich jak ciągłość zatrudnienia, równomierność produkcji oraz zużycia materiałów budowlanych. W tak

przyjętym systemie organizacyjnym możliwe jest stałe podnoszenie wydajności pracy бригад робочих oraz zmniejszenie lub nawet wyeliminowanie niepożądanych przerw робочих.

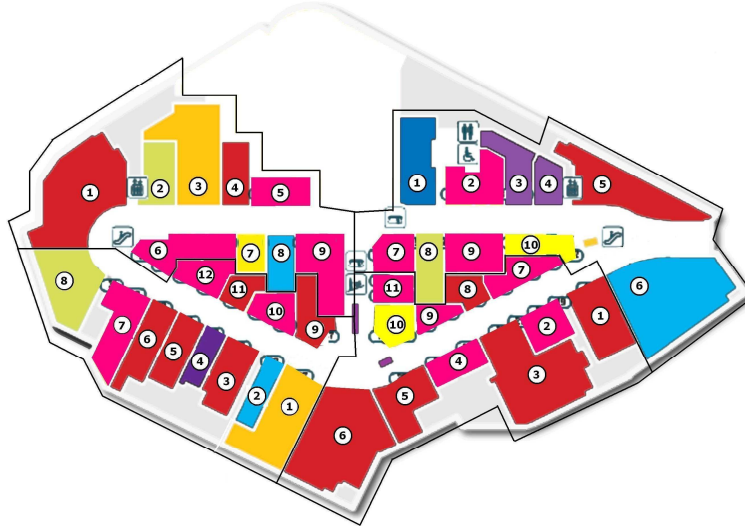
Analizowany przykład galerii handlowej idealnie wpasowuje się w założenia prezentowanej metody. Galeria składa się z 72 boksów, w których należy wykonać ten sam zestaw robót w ustalonej kolejności technologicznej.



Rys.1. Schemat lokalizacji boksów w galerii handlowej.

W skład robót przewidzianych do wykonania w każdym z boksów wchodzi roboty wykończeniowe takie jak wykończenie ścian płytami gipsowo-kartonowymi, wykonanie sufitu podwieszanego, wykonanie posadzki z płytek gres, montaż witryn i rolet, malowanie oraz montaż obramowania kamiennego witryn.

We wstępie pisaliśmy że nie będzie możliwe bezkrytyczne przeniesienie modeli z przemysłu produkcji seryjnej do produkcji budowlanej. Pierwszym poważnym problemem z jakim się stykamy jest bardzo duża różnorodność w wielkościach działek. Jak widać na powyższym rysunku różnice w wielkościach działek mogą przekraczać kilkaset procent. Zaproponowany został przez nas zatem podział dwustopniowy. Jako pierwszy wykonaliśmy podział całej galerii na cztery fronty robót z wyłączeniem powierzchni supermarketowej, największa działka zlokalizowana w północnej części galerii. Jako drugi stopień podziału przeprowadziliśmy scalenie pomniejszych działek, tak aby nowo powstałe działki, charakteryzowały się zbliżoną powierzchnią. Schemat nowego podziału nadziałki prezentuje schemat zamieszczony na rysunku nr.2 znajdującym się na następnej stronie.



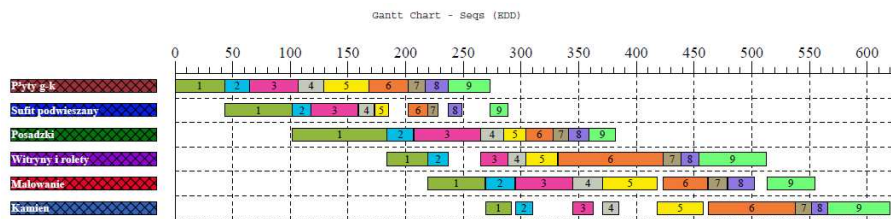
Rys.2. Schemat podziału na fronty i działki robocze.

### 3. REGUŁY SZEREGOWANIA ZADAŃ

Niniejszy rozdział prezentuje wyniki badań jakie zostały przeprowadzone przy zastosowaniu wybranych reguł szeregowania dla działek z frontu pierwszego. Wyniki zostały zaprezentowane w postaci harmonogramów w wersji graficznej z krótkim opisem reguły oraz całościowym czasem wykonania prac na danym froncie robót[2,3].

#### Earliest Due Date. Najwcześniejszy pożądany termin wykonania.

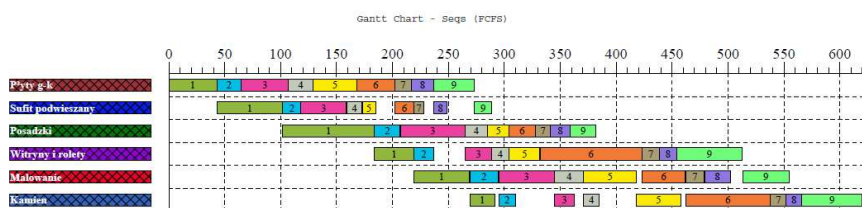
Reguła nakładająca największy priorytet na operację o najwcześniejszym wymaganym terminie zakończenia. W przypadku, gdy taki termin nie jest podany, poszczególne roboty wykonywane są w kolejności wprowadzania działek roboczych. Dla analizowanego przykładu całkowity czas realizacji wynosi 620 r.g.



Rys. 3. EDD. Wykres Gantta dla reguły Najwcześniejszego Pożądanego Terminu Wykonania.

### First Come, First Served. Roboty wykonywane na działkach w kolejności ich wprowadzania.

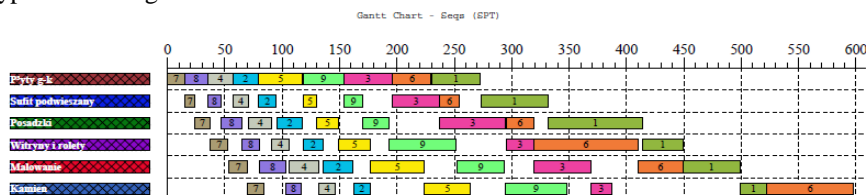
W tym przypadku otrzymujemy rozwiązanie identyczne z EDD, w którym nie wprowadzono ograniczeń w terminie wykonania robót. Całkowity czas realizacji jest analogiczny i wynosi 620 r.g.



Rys. 4. FCFS. Wykres Gantta dla szeregu ustalonej kolejności wprowadzenia danych.

### Shortest Processing Time. Najkrótszy czas wykonania.

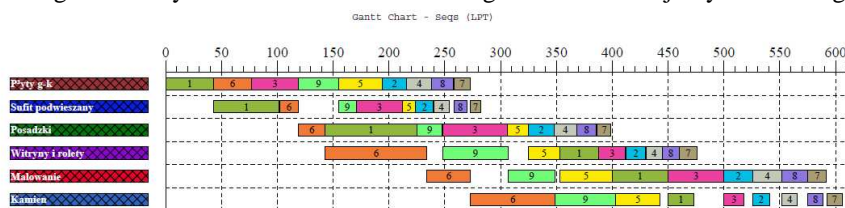
Reguła szeregowania polegająca na szeregowaniu działek w kolejności rosnącej całkowitego czasu wykonania. Wartość całkowitego czasu realizacji wynosi w tym przypadku 598 r.g.



Rys. 5. SPT. Wykres Gantta dla reguły Najkrótszego Czasu Wykonania.

### Longest Processing Time. Najdłuższy czas wykonania.

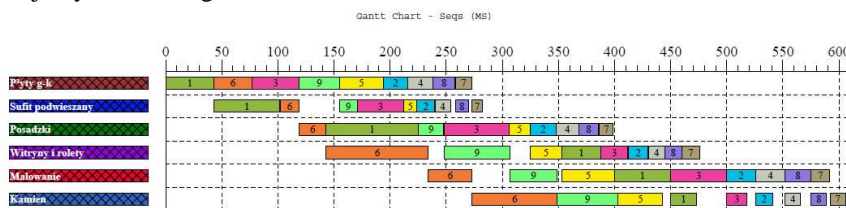
Reguła szeregowania polegająca na szeregowaniu działek w kolejności malejącej całkowitego czasu wykonania. Wartość całkowitego czasu realizacji wynosi 606 r.g.



Rys. 6. LPT. Wykres Gantta dla reguły Najdłuższego Czasu Wykonania.

### Minimum Slack. Minimalny zapas czasu.

Reguła ta jest skierowana w stronę rozwiązania zapewniającego, w miarę możliwości, ciągłość pracy poszczególnych brygad. Dla każdej brygady, która skończyła pracę przeliczany jest warunek na maximum ( czas zakończenia – czas trwania – czas zakończenia pracy na poprzedniej działce, 0). Działki są szeregowane kolejno od najniższej wartości powyższego warunku logicznego. Wyznaczony w ten sposób całkowity czas realizacji wynosi 606 r.g.



Rys. 16. MS. Wykres Gantta dla reguły „Minimalnych luzów.”

## 4. WNIOSKI

Przetestowane w niniejszej pracy wybrane reguły szeregowania zadań okazują się przydatne nie tylko w produkcji przemysłowej. W przypadku budynków o naturalnym podziale na działki robocze pozwalają one wybrać takie rozwiązanie, które w stosunku do standardowego może przynieść oszczędność czasu. Nie zanotowano jednak dużych rozpiętości w różnicach czasów wykonania. Różnice jakie zostały wykazane wyniosły około 4%. Najkrótszy czas realizacji uzyskano dzięki metodzie SPT i było to 598 r.g. Natomiast dzięki zastosowaniu reguły MS uzyskano maksymalną ciągłość pracy brygad roboczych. Wyniki badań potwierdzają słuszność stosowania metod szeregowania zadań w przemyśle budowlanym. Należy jednak zwrócić również uwagę nie tylko na deterministyczne reguły ale i na algorytmy heurystyczne.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Jaworski K. M.: *Metodologia projektowania realizacji budowy*, Wydawnictwo Naukowe PWN 2008.
- [2] Pindo M.L.: *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*, Springer Science+Media 2008.
- [3] Totrakool P., Chutima P.: *An analysis of dispatching rules on assembly shop efficiency under just in time environment*, Bangkok, Thailand 2006.
- [4] [www.stern.nyu.edu/om/software/lekin/index.htm](http://www.stern.nyu.edu/om/software/lekin/index.htm)