

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2017), 26 (2), 210–218  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2017), 26 (2)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2017), 26 (2), 210–218  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2017), 26 (2)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2017.26.2.19

**Roman MARCINKOWSKI**

Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii, Politechnika Warszawska  
Faculty of Civil Engineering, Mechanics and Petrochemistry, Warsaw University  
of Technology

## **Modelowanie ograniczeń w metodzie pracy potokowej Modeling constraints in the linear scheduling method (LSM)**

**Słowa kluczowe:** potokowe metody organizacji pracy, metody sprzężeń czasowych, modelowanie ograniczeń w planowaniu

**Key words:** linear scheduling method (LSM), time couplings method (TCM), modeling constraints in planning

### **Wprowadzenie**

Inspiracją do przedstawienia problemów modelowania ograniczeń w harmonogramowaniu pracy brygad w systemie pracy potokowej były artykuły zamieszczone w miesięczniku *Materiały Budowlane* (Biruk i Jaśkowski, 2016; Bożejko, Hejducki, Rogalska i Wodecki, 2016; Hejducki i Podolski, 2016; Krzemiński, 2016; Rosłon, 2016); którego tematem wydania były zagadnienia inżynierii przedsięwzięć budowlanych, w tym harmonogramowanie procesów budowlanych. Przedstawione tam modele i techniki obliczeniowe, aczkolwiek bardzo zaawansowane pod względem wykorzystanych osiągnięć

matematyki i informatyki, zostały odniesione do indywidualnych założeń, ograniczeń i kryteriów optymalizacji harmonogramów dla przedsięwzięć realizowanych w systemie pracy potokowej. Nie podważając istotności i autorskich osiągnięć naukowych opisanych w tych artykułach, należy zauważyć, że dla praktyki budowlanej potrzebna jest metoda planowania tego rodzaju przedsięwzięć, elastyczna pod względem definiowania ograniczeń i kryteriów optymalizacji harmonogramów. Chodzi o to, aby w modelowaniu problemu optymalizacji harmonogramu realizacji przedsięwzięcia formułować wszystkie istotne ograniczenia zadania, z możliwością ich weryfikacji (przyjęcia bądź odrzucenia) przez planistę. Elastyczna powinna być też funkcja celu. Nie jest bowiem prawdą, że w planowaniu najczęściej chodzi nam o jak najszybsze zrealizowanie przedsięwzięcia. Wychoząc naprzeciw tym oczekiwaniom, w artykule przedstawiono istotne zagadnienia modelowania przedsięwzięć realizowa-

nych w systemie pracy potokowej wraz z podaniem ich użyteczności dla planistów i koncepcją elastycznej metody planowania. Elastyczne definiowanie ograniczeń i kryteriów optymalizacji może być stosowane pod dwoma warunkami – planista na bieżąco sprawdza i modyfikuje kalkulacje programu komputerowego, a obliczenia są tworzone równoległe dla wielu schematów. Koncepcję elastycznego planowania sprowadzono do symulacyjnego wyznaczania quasi-optymalnych harmonogramów, w których planista zmienia sekwencyjnie ograniczenia i kryteria optymalizacji planu.

## Model systemu organizacyjnego

Jak wiemy, we wszystkich modelach metod potokowych przyjmuje się jednaki model organizacji pracy. W celu sformułowania dalszych propozycji zidentyfikujmy sytuację planistyczną. Dany jest zbiór obiektów (frontów robót, działek roboczych)  $O = \{O_1, O_2, \dots, O_i, \dots, O_n\}$  na których przewidziano do wykonania procesy robocze tworzące zbiór  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ , które należy wykonać na obiektach w ustalonym porządku technologicznym:

$$M_1 \prec M_2 \prec \dots \prec M_j \prec \dots \prec M_m \quad (1)$$

Prace na zbiorze obiektów  $O$  będą realizowały specjalistyczne zespoły (brygady), tworzące zbiór  $B = \{B_1, B_2, \dots, B_j, \dots, B_m\}$  i przeznaczone do realizacji poszczególnych procesów roboczych zbioru  $M$ . Harmonogram realizacji prac (zbiór  $M$ ) przez brygady (zbiór  $B$ ) wyznaczany jest na podstawie macierzy  $\mathbf{T} = [t_{ij}]_{n \times m}$ , w której  $t_{ij}$  – określa zużycie czasu brygady  $B_j$  na wykonanie procesu

$M_j$  na obiekcie  $O_i$ , przy założeniach dodatkowych opisujących wymagania organizacyjne bądź technologiczne modelowane sprzężeniami (Hejducki, 2003). Wyznaczanie harmonogramów dla tak zdefiniowanego systemu organizacyjnego jest obszernie opisane w literaturze przedmiotu (Mrozowicz, 1997; Marcinkowski, 2002a; Hejducki, 2003; Marcinkowski i Jakubowski, 2006; Bożejko i inni, 2016; Chyliński i Hejducki, 2016; Hejducki i Podolski, 2016; Krzemiński, 2016) wraz z metodami (niekiedy algorytmami) obliczeń numerycznych.

## Modelowanie ograniczeń realizacyjnych w systemie pracy potokowej

Ograniczenia realizacyjne w systemie pracy potokowej mogą mieć różny charakter i miejsce występowania. Wynikają one z reżimów technologicznych, uwarunkowań organizacyjnych – w tym z korelacji pracy kilku wykonawców budowlanych.

Po pierwsze w metodach harmonogramowania robót musi istnieć możliwość uwzględnienia ograniczeń brzegowych, sprowadzających się do definiowania możliwych terminów rozpoczęcia planowanych prac i wymaganych terminów ich zakończenia. W modelu zadania harmonogramowania prac powinniśmy mieć możliwość określenia: terminów dostępności obiektów (możliwych terminów rozpoczęcia prac)  $\mathbf{P} = [p_i]$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), terminów zakończenia prac na obiektach według zapisu kontraktu  $\mathbf{Z} = [z_i]$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) oraz terminów dostępności brygad  $\mathbf{R} = [r_j]$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ).

Termin dostępność brygady określa czas, od którego brygada może przystąpić do realizacji prac w rozpatrywanym przedsięwzięciu. Podyktowany jest on najczęściej koniecznością zrealizowania prac już rozpoczętych. Termin dostępności obiektu to czas, od którego można rozpocząć pracę na obiekcie. Uwarunkowany jest on najczęściej kontraktem, a w przypadku weryfikacji planu wynika z zakończenia prac już rozpoczętych. Może też być podyktowany terminem „zwolnienia” obiektu (frontu robót) przez innych wykonawców, których pracy nie planujemy. Termin zakończenia prac na obiekcie jest zakładanym (pożądanym) okresem wykonania robót przez brygady (zbiór  $B$ ) na obiekcie. Takie ograniczenie może nie być możliwe do spełnienia, dlatego też w modelach harmonogramowania zakłada się, że jego przekroczenie będzie niekorzystnie wpływać na kryterium optymalizacji planu.

Drugim elementem ograniczeń realizacyjnych są sprzężenia między procesami pracy wykonywanymi na różnych obiektach – zwane dalej czynnościami. Technika sprzężeń powinniśmy modelować wymagania organizacyjne do przebiegu potoków robót. Chodzi tu głównie o możliwość zdefiniowania współbieżności realizacji prac lub otwarcia/zamknięcia frontów robót dla poszczególnych brygad.

Każde sprzężenie czasowe jest definiowane między zdarzeniami początku lub końca dwóch czynności modelu systemu organizacyjnego. Może mieć charakter obligatoryjny bądź warunkowy. Sprzężenie obligatoryjne oznacza, że między zdarzeniami sprzężonymi ma upłynąć wymagany (zdefiniowany) czas. Sprzężenia warunkowe określają wy-

magany minimalny czas, jaki powinien upłynąć między uwarunkowanymi zdarzeniami. Czas ten jednak może być dłuższy. Sprzężenia te służą zazwyczaj do definiowania wymagań technologicznych.

Przy użyciu sprzężeń obligatoryjnych można modelować ciągłość pracy brygad (zerowe sprzężenia między czynnościami wykonywanymi przez poszczególne brygady), ciągłość pracy na obiektach (zerowe sprzężenia między czynnościami realizowanymi na poszczególnych obiektach), ciągłość wykonania (jeden po drugim) wybranych czynności modelu systemu organizacyjnego.

Autorzy zajmujący się metodami potokowymi proponują różne systemy sprzężeń czasowych, na przykład: między procesami/brygadami, między obiektami, sprzężenia diagonalne, sprzężenia odwrotne diagonalne itd.

System sprzężeń oraz dodatkowe ograniczenia, kryteria optymalizacji, organizacja brygad implikują liczny zbiór metod obliczeniowych. Hejducki (2003) z tego powodu wyszczególnił 68 wariantów metod potokowych (metod sprzężeń czasowych), odnosząc też sprzężenia do najwcześniejszych możliwych i najpóźniejszych dopuszczalnych terminów realizacji procesów na obiektach, co nie wydaje się słuszne i celowe. Terminy te są wynikiem analitycznego badania możliwości sprostania wymaganiom terminowym przy uwzględnieniu zależności między czynnościami. Sprzężenia natomiast powinny mieć sens fizyczny odniesiony do zdarzeń w realizacji prac, jakimi są rozpoczęcie bądź zakończenie procesów pracy na obiektach czy też rozpoczęcie bądź zakończenie procesu.

Wyróżnianie różnego rodzaju sprzężeń nie powinno stanowić o metodzie

planowania. Potokowa metoda organizacji pracy jest bowiem implementacją pewnego sposobu organizacji pracy, który jest niezmienny mimo różnych ograniczeń szczegółowych. Żeby jednak tak było, metoda analizy sytuacji planistycznej nie może zależeć od ograniczeń realizacyjnych. Ten warunek spełniają metody symulacyjne, których algorytm obliczeniowy nie jest wrażliwy na ograniczenia – metoda optymalizacji się nie zmienia.

W definiowaniu wszystkich sprzężeń czasowych należy zachowywać umiar. Sprzężenia mogą bowiem implikować sprzeczności oczekiwań (np. sprzężenia dla zachowania ciągłości pracy brygad i sprzężenia dla zachowania ciągłości pracy na obiektach). Proponuje się więc wprowadzanie interaktywnie sprzężeń czasowych z jednoczesnym kontrolowaniem możliwości ich spełnienia.

## Model zadania harmonizacji

Zadanie harmonizacji w systemie pracy potokowej polega na określeniu harmonogramu robót:

$$\mathbf{H} = \left\langle x'_{ij}, x''_{ij} \right\rangle \wedge_{(i,j)} \left( t_{ij} > 0 \right) \quad (2)$$

$(i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m)$

w którym  $x'_{ij}$ ,  $x''_{ij}$  określają terminy – odpowiednio – rozpoczęcia i zakończenia pracy przez brygadę  $j$  na obiekcie  $i$ , realizując założenia modelu systemu organizacyjnego (określone w drugim podrozdziale artykułu) przy spełnieniu ograniczeń: dostępności obiektów [P], wymagań terminowych zakończenia prac na obiektach [Z] i dostępności brygad

[R]. Podstawą analizy jest macierz [T] (czasów realizacji prac przez brygady na frontach robót) i zdefiniowane sprzężenia między czynnościami (np. określone macierzą [S]). Zależności matematyczne do wyznaczenia harmonogramu, przy wyżej określonych danych, są przedstawione w pracach Mrozowicz (1997), Marcinkowski (2002b), Marcinkowski i Jakubowski (2006), Rosłon (2016).

Problem optymalnego harmonogramu związany z kolejnością realizacji obiektów przez brygady występuje wtedy, gdy obiekty są niejednorodne (elementy macierzy **T** mają różną wartość). Dla różnych uszeregowania obiektów w systemie realizacyjnym otrzymujemy wtedy odmienne harmonogramy charakteryzujące się różnym wykorzystaniem środków produkcji (brygad) i czasem zajętości frontów robót (trwania prac na obiektach).

Oczywiście poszukujemy optymalnego harmonogramu, co jak wiemy, w systemie pracy potokowej polega na poszukiwaniu najkorzystniejszego uszeregowania obiektów (frontów robót) przed brygadami. Dla różnych uszeregowania obiektów w systemie realizacyjnym otrzymujemy wtedy odmienne harmonogramy charakteryzujące się różnym wykorzystaniem środków produkcji (brygad) i czasem zajętości frontów robót (trwania prac na obiektach).

Do oceny jakości wyznaczanych harmonogramów autor artykułu w swoich pracach (2002a i b) preferuje kryterium czasowo-kosztowe. Zakłada się, że znane są koszty jednostkowe „strat” spowodowane przestojem brygad  $C^b = [c^b_j]$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) oraz koszty jednostkowe strat z tytułu niedotrzymania terminów zakończenia robót

na obiektach według zapisu kontraktu  $C^o = [c_i^o]$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) i minimalizuje funkcję:

$$Z = \sum_{j=1}^m \left[ y_{nj} - r_j - \sum_{i=1}^n t_{ij} \right] \cdot c_j^b + \sum_{i \in Q} [w_{im} - z_i] \cdot c_i^o \quad (3)$$

gdzie:

$y_{nj}$  – termin zakończenia pracy przez  $j$ -tą brygadę w realizacji  $n$  obiektów (zbioru  $O$ ),

$r_j$  – terminy dostępności brygad ( $j = 1, 2, \dots, m$ ),

$Q$  – zbiór obiektów, dla których  $w_{im} > z_i$ ,

$w_{im}$  – termin zakończenia robót na  $i$ -tym obiekcie przez  $m$  brygad roboczych (zbiór  $B$ ),

$z_i$  – zadeklarowane w kontrakcie zakończenia prac na obiektach ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Sformułowane kryterium ma aspekt uniwersalności i elastyczności. Współczynnikom kosztowym można bowiem nadać różne znaczenia i wartości.

Obiektywizacja oceny harmonogramu może być osiągnięta jedynie wtedy, gdy koszty jednostkowe „strat” zostaną skalkulowane realnie. Jeżeli takiej możliwości nie ma, koszty jednostkowe mogą pełnić rolę współczynników wagowych umożliwiających zapis preferencji planisty. Koszty jednostkowe przyrównane do jedności przekształcają funkcję (3) w wyrażenie czasu – funkcja ta określać będzie sumaryczny czas przestoju brygad i przekroczenia dyrektywnych terminów zakończenia robót na obiektach. Dla brygad i obiektów, których ciągłość pracy i terminowość nie generują skutków ujemnych, należy definiować koszty jednostkowe równe zero. Jeżeli zaś zależy nam na jak najszybszym

zrealizowaniu zbioru obiektów, należy przyjąć niewspółmiernie duże koszty dla brygady kończącej realizację procesów na obiektach.

Zestawienie podstawowych możliwości zmiany preferencji w optymalizacji harmonogramu przy zastosowaniu formuły (3) przedstawia tabela. Nie jest to pełny zbiór kryteriów, który można zdefiniować w zadaniu. Algorytm programu komputerowego mógłby zawierać kilka funkcji kryterialnych, dając możliwość ich wyboru („uaktywnienia”) operatorowi programu. Wyznaczony harmonogram powinien być charakteryzowany terminarzem realizacji procesów na obiektach oraz obiektywnymi wskaźnikami jakości rozwiązania odniesionymi do poszczególnych brygad i poszczególnych obiektów.

## Koncepcja interaktywnego sposobu harmonogramowania

W modelu programu komputerowego do interaktywnego harmonogramowania przedsięwzięć realizowanych sposobem potokowym (rys.) przyjmuje się, że algorytm metody optymalizacji nie będzie zależał od wprowadzanych na poszczególnych etapach obliczeń danych precyzujących sytuację planistyczną. Jak stwierdzono na wstępie, możliwość taka istnieje przy wykorzystaniu algorytmów symulacyjnego bądź przeglądu pełnego możliwych uszeregowania obiektów w procesie realizacyjnym brygad – przedstawionych w pracy Marcinkowski i Jakubowski (2006).

W modelu programu komputerowego przyjmuje się założenia systemu pra-

TABELA. Wartości kosztów  $c_j^b$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) i  $c_i^o$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) przyjmowane w celu modyfikacji preferencji w optymalizacji harmonogramów  
 TABLE. Cost values  $c_j^b$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) and  $c_i^o$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) used in order to modify preferences in schedule optimization

Sformułowanie preferencji Formulation of the preferences	$c_j^b$	$c_i^o$
Minimalizacja kosztów strat spowodowanych przerwami w pracy brygad Minimize the cost of losses caused by the breaks in brigades' work	$c_j^b = \text{realne}$	$c_i^o = 0$
Minimalizacja kosztów strat spowodowanych niedotrzymaniem zadeklarowanych w kontrakcie terminów zakończenia robót na obiektach Minimize the costs for losses caused by missing the deadlines for the completion of works on the objects	$c_j^b = 0$	$c_i^o = \text{realne}$
Minimalizacja sumarycznych kosztów strat Minimize the sum of the cost of losses	$c_j^b = \text{realne}$	$c_i^o = \text{realne}$
Minimalizacja czasu przerw w pracy brygad Minimize the time of breaks in brigades' work	$c_j^b = 1$	$c_i^o = 0$
Minimalizacja sumarycznego czasu przekroczeń zadeklarowanych w kontrakcie terminów zakończenia robót na obiektach Minimize time overruns of deadlines for the completion of works on the objects	$c_j^b = 0$	$c_i^o = 1$
Minimalizacja cyklu realizacji przedsięwzięcia Minimize the time of the project	$c_n^b = M^*$	$c_i^o = 0$

\* $M$  jest dużą liczbą, a wartość funkcji celu jest nierealna. Wynik optymalizacji określa termin zakończenia przedsięwzięcia odczytany z harmonogramu.

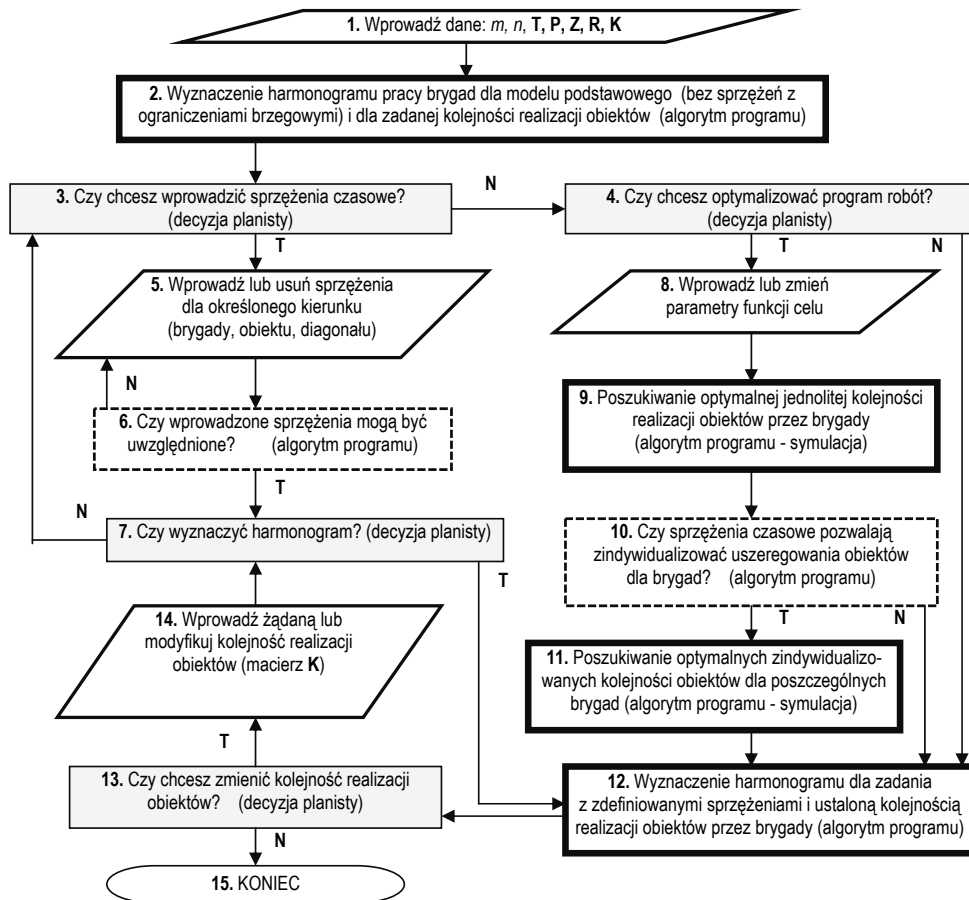
cy potokowej i dane określające ograniczenia zadania. Definiowana jest też macierz  $\mathbf{K} = [k_{i,j}]$  ( $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ ) określająca kolejki obiektów w dostępie do poszczególnych brygad ( $k_{ij}$  – numer obiektu, który powinien być realizowany w  $i$ -tej kolejności przez  $j$ -tą brygadę). Kolejki te na początku obliczeń są jednakowe dla wszystkich brygad – odpowiadające ustalonej przez planującego kolejności realizacji obiektów.

## Podsumowanie

Problem powszechnego wykorzystywania współczesnych narzędzi planistycznych, jakimi są metody i ich oprogramowanie, związany jest z przejrzystością metodyczną i obliczeniową

metod planowania. Tej klarowności w metodach potokowych nie ma.

Metody potokowe mogą być powszechniej stosowane w praktyce. Ich podstawową zaletą jest porządek organizacyjny, dlatego też często wykorzystujemy ten system pracy jako zasadę organizacji prac budowlanych. Rzadko jednak stosujemy metodykę planowania i algorytmy obliczeniowe. Powodów jest wiele. Najczęściej wymienia się niedopasowanie modelu do potrzeb, brak użytecznych dla praktyki programów komputerowych (programy są wyidealizowane), brak możliwości łączenia etapów przedsięwzięć, które są realizowane w różnych systemach organizacyjnych. Wydaje się, że mankamenty te można wyeliminować poprzez wprowadzenie



[Markings: N – stands for “NO”, T – stands for “YES”; **1.** Insert the data:  $m, n, T, P, Z, R, K$ ; **2.** Make a schedule of brigades’ work for the basic model (without couplings, with boundary constraints) and for a given order of objects’ implementation (the algorithm); **3.** Do you want to enter the time couplings? (decision); **4.** Do you want to optimize the works program? (decision); **5.** Enter or remove couplings for the specified direction (e.g. brigade, object); **6.** Is it possible to include the entered couplings? (the algorithm); **7.** Make a schedule? (decision); **8.** Enter or change parameters for the optimization function; **9.** Search for an optimal uniform order of objects’ implementation by brigades (the simulation algorithm); **10.** Do couplings allow to customize the order of objects for the brigades? (the algorithm); **11.** Search for the best custom order of objects for each of the brigade (the simulation algorithm); **12.** Make a schedule for a task with defined couplings and a fixed order of objects’ implementation by the brigades (the algorithm); **13.** Do you want to change the order of objects’ implementation? (decision); **14.** Enter a desirable or modify the order of objects’ implementation (a matrix of  $K$ ); **15.** END].

RYSUNEK. Uproszczony schemat modelu interaktywnego planowania pracy brygad w systemie pracy potokowej

FIGURE. Interactive planning of teams’ work in the linear scheduling method – a simplified scheme

do praktyki opisanej koncepcji metody planowania.

Metodyka planowania potoków robót ma jedną zasadniczą przewagę nad metodami sieciowymi – model organizacji prac jest zmienny. W planowaniu metodami sieciowymi układ organizacyjny czynności jest prawie niezmienny. W metodach potokowych poszukuje się najkorzystniejszego uszeregowania prac przed brygadami. Okazuje się, że mimo złożoności zagadnienia, możliwe jest rozwiązanie tego problemu. Wyznacza się takie harmonogramy, których człowiek bez skorzystania z symulacji wygenerowanych w programie komputerowym by nie opracował.

## Literatura

- Biruk, S. i Jaśkowski, P. (2016). Optymalizacja wykorzystania zasobów odnawialnych podczas realizacji obiektów liniowych. *Materiały Budowlane*, 6, 8-10.
- Bożejko, W., Hejducki Z., Rogalska M. i Wodecki, M. (2016). Metody sprzężeń czasowych w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. *Materiały Budowlane*, 6, 11-12.
- Chyliński, P. i Hejducki, Z. (2016). Analiza przestrzeni harmonogramów z zastosowaniem metod sprzężeń czasowych. *Materiały Budowlane*, 6, 15-17.
- Hejducki, Z. (2003). Możliwości wariantowania metod organizacji robót z uwzględnieniem sprzężeń czasowych. W: *Materiały Konferencji Naukowej Zarządzanie Przedsiębiorstwem i Przedsięwzięciem Budowlanym Lublin – Kazimierz Dolny 2003*. Lublin: Politechnika Lubelska.
- Hejducki, Z. i Podolski, M. (2016). Teoria szeregowania zadań a metody sprzężeń czasowych. *Materiały Budowlane*, 6, 20-21.
- Krzemiński, M. (2016). Matematyczny model usuwania przestojów pracy brygad w przypadku potokowej metody organizacji pracy. *Materiały Budowlane*, 6, 27-28.

- Marcinkowski, R. (2002a). Sterowanie pracą brygad specjalistycznych w realizacji niejednorodnych obiektów budowlanych. *Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej*, 2, 143-159.
- Marcinkowski, R. (2002b). *Metody rozdziału zasobów realizatora w działalności inżynierjno-budowlanej*. Warszawa: Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej.
- Marcinkowski, R. i Jakubowski, G. (2006). Symulacyjno-analityczne harmonogramowanie przedsięwzięć realizowanych w systemach pracy potokowej. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej 87, Studia i Materiały 18*, 121-128.
- Mrozowicz, J. (1997). *Metody organizacji procesów budowlanych uwzględniające sprzężenia czasowe*. Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne.
- Rosłon, J. (2016). Porównanie algorytmów genetycznego i przeszukiwania tabu wykorzystanych do szeregowania zadań w budownictwie. *Materiały Budowlane*, 6, 44-45.

## Streszczenie

**Modelowanie ograniczeń w metodzie pracy potokowej.** W artykule przedstawiono istotne zagadnienia modelowania pracy brygad w systemie pracy potokowej oraz koncepcję elastycznej metody planowania. Istotą zaproponowanej metody jest elastyczne definiowanie ograniczeń i kryteriów optymalizacji w interaktywnym i symulacyjnym planowaniu – symulacyjnym wyznaczaniu quasi-optymalnych harmonogramów, w których planista zmienia sekwencyjnie ograniczenia i kryteria optymalizacji planu.

## Summary

**Modeling constraints in the linear scheduling method (LSM).** The article discusses some important issues of constraints modeling in teams' work planning in linear scheduling method. It also introduces a concept of a flexible method of planning in which constraints and optimization crite-



ria are defined flexibly during the interactive and simulative planning. The method consists in determining quasi-optimal schedules with an interaction of a planner, who amends the constraints and optimization criteria.

**Author's address:**

Roman Marcinkowski  
Politechnika Warszawska  
Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii  
Instytut Budownictwa  
ul. Łukasiewicza 17  
09-400 Płock, Poland  
e-mail: marcinkowski@pw.plock.pl