

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (3), 300–309  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (3)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (3), 300–309  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (3)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.3.29

**Edyta PLEBANKIEWICZ, Agnieszka LEŚNIAK, Patrycja KARCIŃSKA**

Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki  
Faculty of Civil Engineering, Tadeusz Kościuszko Cracow University of Technology

## **Założenia modelu weryfikacji planowanej liczby roboczogodzin w wykonawstwie budowlanym**

### **Assumptions of a planned number of man-hours verification model for construction works**

**Słowa kluczowe:** planowanie zatrudnienia, czynniki pracotwórcze, logika rozmyta  
**Key words:** labor planning, labor factors, fuzzy logic

#### **Wprowadzenie**

Proces planowania zatrudnienia pracowników na budowie, jako jeden z etapów organizacyjnego przygotowania wykonawcy do realizacji robót budowlanych, w praktyce przebiega niemalże zawsze w budowlanych firmach wykonawczych (Karcińska, 2015). Opracowane na tym etapie informacje mają duże znaczenie w harmonogramowaniu robót budowlanych, ponieważ pozostają w ścisłym związku z terminem i czasem ich realizacji, przez co mogą powodować ograniczenia, które należy wziąć pod uwagę (Jaśkowski i Tomczak, 2017; Marcinkowski, 2017). Staranne, oparte obliczeniami zaplanowanie od-

powiedniego zatrudnienia na budowie korzystnie wpływa na jej przygotowanie i prowadzenie (PZiTb, 1970). Z kolei niepoprawnie przeprowadzona analiza może powodować problemy organizacyjne wykonawcy, a także opóźnienia w realizacji robót budowlanych (Leśniak, Piskorz, Spišáková i Mačková, 2018).

W artykule przedstawiono założenia modelu planowania zatrudnienia w wykonawstwie budowlanym. Opracowywany model będzie wspierał wykonawcę budowlanego w procesie planowania zatrudnienia na budowie, dając możliwość weryfikacji wstępnych założeń dotyczących planowanej ilości roboczogodzin wyznaczonej jedną z ogólnodostępnych i stosowanych powszechnie metod (CIOB, 1991; Marcinkowski, 2013). Wynikiem modelu będzie współczynnik korygujący zaplanowaną robociznę ze względu na wpływ czynników pracotwórczych. Iloczyn uzyskanego

współczynnika oraz planowanej przez wykonawcę ilości roboczogodzin da w wyniku skorygowaną o wpływ rozważanych czynników wartość roboczogodzin, która w założeniu jest wartością bliższą rzeczywistości. Prezentowane podejście do problemu planowania zatrudnienia na budowie opiera się na liczbie roboczogodzin, a nie liczbie pracowników, dlatego w opracowywanym modelu nie uwzględnia się rozróżnienia na zawody. Należy również podkreślić, że model z założenia ma zastosowanie dla indywidualnego przedsięwzięcia budowlanego, tak jak dla każdego przedsięwzięcia indywidualnie planuje się zatrudnienie.

### Przyjęte matematyczne metody modelowania

Opracowywany algorytm planowania zatrudnienia oparto na teorii zbiorów rozmytych. Wykorzystaną metodą modelowania rozmytego jest wnioskowanie rozmyte w tzw. architekturze Mamdaniego i Zadeha (Kacprzyk, 2001). Model rozmyty może być postrzegany jako model logiczny (Kacprzyk, 2001), w którym używa się reguł „jeśli-to” do określenia jakościowych zależności między zmiennymi uwzględnionymi w modelu. Użytkiwany wynikiem działania modelu jest liczba rozmyta, modelująca w tym przypadku możliwą zmianę liczebności zatrudnienia, na skutek wpływu czynników pracotwórczych. Liczbą rozmytą jest zbiór rozmyty  $A \subseteq R$ , którego funkcja przynależności  $\mu_A(x)$  spełnia następujące warunki (Kacprzyk, 1986):

- $\sup(x \in R) \mu_A(x) = 1$ , co znaczy, że zbiór rozmyty  $A$  jest normalny;

- $\mu_A[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min \{ \mu_A(x_1), \mu_A(x_2) \}$  dla dowolnych  $x_1, x_2 \in R$  i  $\lambda \in [0, 1]$ , co znaczy, że zbiór rozmyty  $A$  jest wypukły;
- $\mu_A(x)$  jest funkcją przedziałami ciągłą.

Spełnienie warunku normalności gwarantuje, że przynajmniej jeden z elementów zbioru rozmytego  $A$  ma stopień przynależności równy 1. Spełnienie warunku wypukłości wskazuje, że funkcja przynależności zbioru rozmytego  $A$  ma tylko jedno maksimum. Te dwie właściwości sprawiają, że liczby rozmyte nadają się do modelowania nieprecyzyjnych określeń opisanych przez zmienne lingwistyczne (Kacprzyk, 1986), takie jak np. duży wpływ czynnika. Z tego względu zdecydowano się na ich zastosowanie w matematycznym modelu planowania zatrudnienia.

Do zdefiniowania problemu wpływu czynników na planowane zatrudnienie zastosowano pojęcie relacji rozmytej. Relację rozmytą  $R \subseteq X \times Y$  między dwoma niepustymi zbiorami (nierozmytymi)  $X$  i  $Y$  nazywa się zbiór rozmyty określony na iloczynie kartezjańskim  $X \times Y$ :

$$R = \{((x, y), \mu_R(x, y))\}, \forall x \in X, \forall y \in Y \quad (1)$$

gdzie:  $\mu_R : \mathbf{X} \times \mathbf{Y} \rightarrow [0, 1]$  jest funkcją przynależności. Funkcja ta przypisuje każdej parze  $(x, y) \ x \in X, y \in Y$  jej stopień przynależności  $\mu_R(x, y)$ , interpretowany jako siła powiązania między elementami  $x \in X$  i  $y \in Y$ .

Relacja rozmyta jest zbiorem rozmytym, wszystkie definicje, własności, operacje itp. na zbiorach rozmytych przenoszą się więc na relacje rozmyte. Z punktu widzenia niniejszego opracowania nale-

ży jeszcze podać pojęcie złożenia maksymalnego (typu max-min) dwóch relacji rozmytych  $R \subseteq X \times Y$  i  $U \subseteq Y \times Z$ , które oznaczamy  $R \circ_{\max\text{-min}} U$  (Kacprzyk, 2001).

Niech będą dane trzy zbiory nierozmyte  $X$ ,  $Y$  i  $Z$  oraz relacja rozmyta  $R \subseteq X \times Y$  z funkcją przynależności  $\mu_R(x, y)$  i relacja rozmyta  $U \subseteq Y \times Z$  z funkcją przynależności  $\mu_U(y, z)$ . Jeżeli zbiór  $Y$  ma skończoną liczbę elementów, to złożeniem relacji rozmytych  $R \subseteq X \times Y$  i  $U \subseteq Y \times Z$  nazywa się relację rozmytą  $V = R \circ U$  w  $X \times Z$  w postaci dwuwymiarowego zbioru rozmytego o funkcji przynależności:

$$\mu_{R \circ U}(x, z) = \max_{y \in Y} \{ \min(\mu_R(x, y), \mu_U(y, z)) \} \quad (2)$$

Złożenie maksymalne relacji rozmytych jest oryginalną definicją Zadeha i jest bez wątpienia najczęściej używane (Kacprzyk, 2001). Warto dodać, że ten typ złożenia relacji rozmytych był z powodzeniem stosowany w zakresie organizacji budownictwa, np. w dziedzinie harmonogramowania, m.in. do szacowania czasu realizacji robót (Kulejewski i Ibadov, 2010). Został także zastosowany w modelu matematycznym planowania zatrudnienia opracowywanym przez autorki artykułu.

Wnioskowanie w schemacie Mamdaniego i Zadeha prowadzi najpierw do ustalenia oczekiwanego efektu wpływu czynników na podstawie zależności opisanych w pierwszym zbiorze reguł. Następnie, wykorzystując zależności opisane w drugim zbiorze reguł, ustala się skutki tego wpływu, czyli w tym przypadku oczekiwaną zmianę planowanego zatrudnienia. Szczególną cechą zastoso-

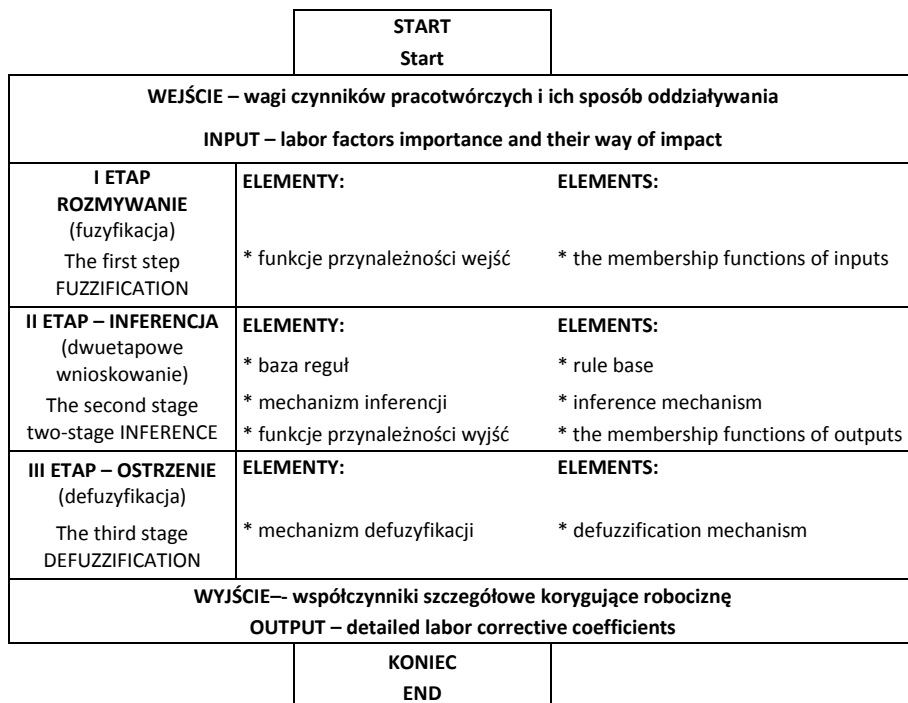
wanego schematu jest operowanie wyostrzonymi wartościami zmiennych wejściowych i ocena stopnia przynależności każdej z tych wartości do każdego ze zbiorów rozmytych. Taki sposób wnioskowania wykorzystuje się w sterowaniu rozmytym, kiedy jest możliwe wprowadzenie ostrych wartości zmiennych wejściowych, ale zależności pomiędzy wartościami zmiennych wejściowych i wyjściowych są formułowane nieprecyzyjnie (Kacprzyk, 2001).

## Struktura modelu

Opracowywany model planowania zatrudnienia składa się z trzech głównych etapów. Ogólny schemat struktury rozmytego modelu planowania zatrudnienia wraz z operacjami i elementami niezbędnymi do jego zastosowania przedstawiono na rysunku 1. Na wejściu użytkownik modelu podaje dwie ostre wartości dotyczące wagi i sposobu oddziaływania czynników wpływających na zatrudnienie, co szczegółowo opisano w kolejnym rozdziale.

Następnie, zgodnie z rysunkiem 1, następuje proces rozmywania wag czynników, sposoby oddziaływania czynników natomiast pozostają wartościami ostrymi i mają na celu wskazanie „kierunku oddziaływania”. Kolejnym krokiem jest dwuetapowa inferencja – czyli wnioskowanie rozmyte, a następnie ostrzenie wartości rozmytych.

Na wyjściu użytkownik modelu uzyskuje cztery współczynniki odnoszące się odpowiednio do technologii wykonania robót, organizacji pracy na budowie, zarządzania realizacją i cech projektowych. W dalszej części pracy współczynniki te



RYSUNEK 1. Ogólny schemat modelu weryfikacji planowanej liczby roboczogodzin  
FIGURE 1. General scheme of the man-hours verification model's operation

będą nazywane współczynnikami szczegółowymi. W modelu uwzględniono 12 czynników pracotwórczych, wpływających na zatrudnienie (Plebankiewicz i Karcińska, 2014). Zostały one sklasyfikowane do czterech równolicznych grup, co jest powodem uzyskania na wyjściu czterech współczynników – każdy współczynnik odpowiada jednej grupie. Przyjęty podział czynników pracotwórczych i ich klasyfikacja do grup przedstawiono w tabeli.

### Dane wejściowe oraz fuzyfikacja

Zgodnie z przedstawionym rysunkiem 1, na wejściu decydent określa po dwa wejścia dla każdego z 12 czynników pracotwórczych. Są to: sposób oddziały-

wania każdego czynnika oraz waga jego wpływu na planowane zatrudnienie. Określenie sposobu oddziaływania czynnika następuje poprzez przypisanie mu wartości -1, 0 lub 1. Wartość -1 oznacza, że czynnik ma wpływ ujemny na planowane zatrudnienie, tzn. jego oddziaływanie będzie powodowało możliwość zmniejszenia zatrudnienia. Wartość 1 oznacza sytuację odwrotną, tzn. że czynnik ma wpływ dodatni na planowane zatrudnienie i jego oddziaływanie będzie powodowało konieczność zwiększenia zatrudnienia. Wartość 0 oznacza sytuację neutralną, tzn. czynnik nie wywiera wpływu w tym konkretnym przedsięwzięciu lub jego wpływ jest pomijalny. W celu przypisania odpowiednich sposobów oddziaływania czynników użyt-

TABELA. Klasyfikacja czynników pracotwórczych  
 TABLE. Classification of labor factors

Czynniki technologiczne (grupa $z_1$ ) Technological factors (group $z_1$ )	Czynniki organizacyjne (grupa $z_2$ ) Organizational factors (group $z_2$ )	Czynniki administracyjne (grupa $z_3$ ) Administrative factors (group $z_3$ )	Czynniki projektowe (grupa $z_4$ ) Design factors (group $z_4$ )
technologia robót budowlanych technology of construction works	rodzaj robót type of work	zarządzanie projektem project management	termin realizacji completion time
stopień prefabrykacji materiałów degree of prefabrication of materials	kwalifikacje pracowników employee qualifications	współpraca wykonawcy z projektantem cooperation of the contractor and the designer	wartość kontraktu contract value
stopień zmechanizowania robót degree of mechanisation of works	warunki fizyczne na placu budowy physical conditions at the site	dostępność pracowników availability of workers	ilość robót amount of work

kownik modelu będzie mógł posiłkować się utworzoną w tym celu instrukcją, która zawiera szczegółowy opis wszystkich trzech sytuacji dla każdego czynnika.

Drugi element wejścia – wagi wpływu każdego z czynników, wynikają z przeprowadzonych przez autorki badań opisanych w artykule Plebankiewicza i Karcińskiej (2014). Badania dotyczyły wpływu czynników na planowane zatrudnienie i zostały przeprowadzone wśród polskich wykonawców budowlanych. Uczestniczący w badaniach oceniali siłę wpływu 12 czynników na planowane zatrudnienie w pięciostopniowej skali Likerta (Gatignon, 2003). Dla każdego czynnika obliczono średnią ocenę oraz indeks ważności (Plebankiewicz i Karcińska, 2014). Czynniki, które zostały ujęte w badaniach, to: ilość robót, rodzaj robót, dostępność pracowników, wartość kontraktu, termin realizacji, stopień prefabrykacji materiałów, stopień zmechanizowania robót, zarządzanie projektem, technologia robót, warunki

fizyczne na placu budowy, współpraca wykonawcy z projektantem oraz kwalifikacje pracowników. W dalszej analizie uzyskane wyniki zostały poddane ocenie zgodności opinii respondentów. Zgodność opinii respondentów została oceniona na podstawie współczynnika dyspersji względnej klasyfikacji, który jest statystyczną miarą zmienności dla skali nominalnej zmiennych (Cieślak, 1997) i był już stosowany w badaniach kwestionariuszowych prowadzonych w obszarze budownictwa (Leśniak, 2014). Ocena zgodności opinii potwierdziła dużą zgodność respondentów, co pozwoliło na wykorzystanie wyników przedstawionych badań w budowie matematycznego modelu do planowania ilościowego zatrudnienia na budowie.

Po wprowadzeniu wartości wejść, poddaje się je procesowi fuzyfikacji, tzn. wyznacza się stopień przynależności do poszczególnych zbiorów rozmytych, określonych zmiennymi lingwistycznymi. Dla wag czynników są to trzy zbiory

rozmyte: „mały”, „średni” i „duży”, które kolejno oznaczają mały wpływ czynnika, średni wpływ czynnika i duży wpływ czynnika na planowane zatrudnienie. Sposoby oddziaływania czynników reprezentowane są przez wartości ostre określające odpowiednio: „ujemny”, „neutralny” i „dodatni” wpływ czynnika, co należy interpretować jako wpływ powodujący zmniejszenie zatrudnienia, neutralny (brak wpływu) lub powodujący zwiększenie zatrudnienia.

Proces rozmywania dla wag czynników zachodzi zgodnie z założonymi funkcjami przynależności. Funkcje przynależności przedstawiono na rysunku 2. Zostały one dobrane jako funkcje trapezowe (Kacprzyk, 1986), a ich dokładny przebieg ustalony na drodze analizy uzyskanych wyników badań (Plebankiewicz i Karcińska, 2014), będących opiniami praktyków budownictwa zajmujących się problemami planowania zatrudnienia na budowie. W przypadku zaistnienia pełnej przynależności zawsze odnosi się ona do jednego zbioru, tzn. że ocena czynnika nie może w pełni należeć jednocześnie do dwóch zbiorów rozmytych. Częściowe przynależności zaś mogą zachodzić w odniesieniu do maksymalnie dwóch zbiorów jednocześnie.

## Dwuetaapowe wnioskowanie rozmyte

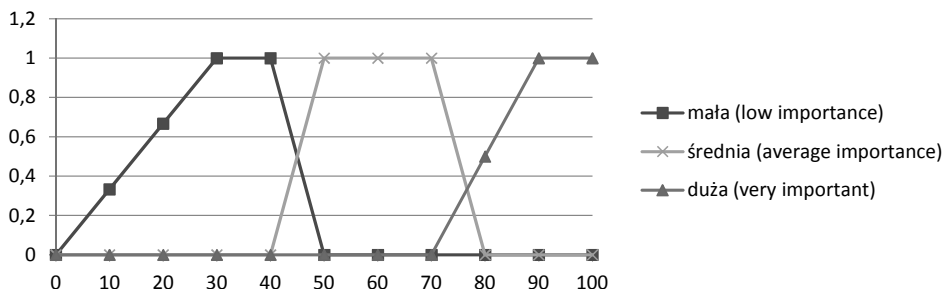
Po etapie fuzyfikacji następuje etap wnioskowania. Przebiega on według utworzonej bazy reguł. W pierwszym bloku wnioskowania dla każdego czynnika na podstawie jego wagi i sposób oddziaływania określa się zakres jego oddziaływania. Baza reguł składa się z 108 reguł – po 9 reguł dla każdego czynnika i można ją opisać w następujący sposób:

*„JEŻELI wielkość wpływu czynnika  $x_i$  na planowane zatrudnienie jest [mała/średnia/duża]*

*I sposób oddziaływania czynnika  $x_i$  będzie [ujemny/neutralny/dodatni]*

*TO zakres skutków oddziaływania czynnika  $x_i$  będzie [duży ujemny/ujemny/mały ujemny/neutralny/mały dodatni/ /dodatni/duży dodatni]”.*

W drugim bloku wnioskowanie na temat wpływu na planowane zatrudnienie będzie zachodzić w odniesieniu do czterech grup czynników, do których klasyfikację przedstawiono w tabeli. Baza reguł składa się w tym przypadku z 1372 reguł – po 343 reguły dla każdej z 4 grup czynników i można ją opisać w następujący sposób:



RYSUNEK 2. Funkcje przynależności wag czynników  
FIGURE 2. The membership functions of factors importance

„JEŻELI zakres skutków oddziaływania czynnika  $x_i$  na planowane zatrudnienie jest [duży ujemny/ujemny/mały ujemny/neutralny/mały dodatni/dodatni/duży dodatni]

I zakres skutków oddziaływania czynnika  $x_j$  na planowane zatrudnienie jest [duży ujemny/ujemny/mały ujemny/neutralny/mały dodatni/dodatni/duży dodatni]

I zakres skutków oddziaływania czynnika  $x_k$  na planowane zatrudnienie jest [duży ujemny/ujemny/mały ujemny/neutralny/mały dodatni/dodatni/duży dodatni]

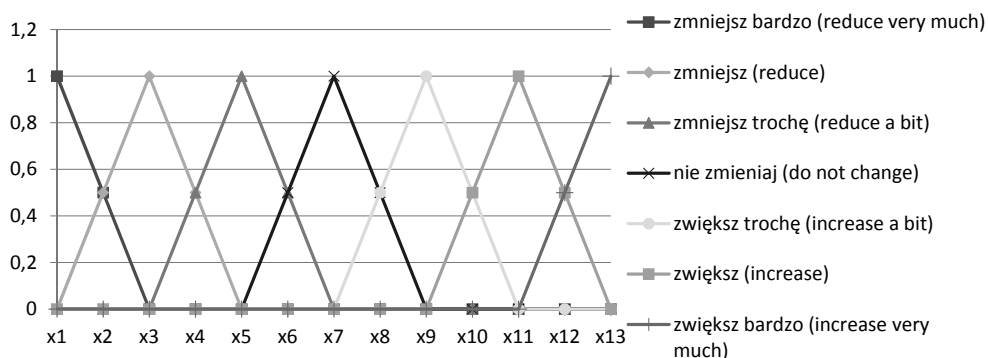
TO ze względu na grupę czynników  $z_i$  planowane zatrudnienie [zmniejsz bardzo/zmniejsz/zmniejsz trochę/nie zmieniaj/zwiększ trochę/zwiększ/zwiększ bardzo]

Dla zbioru możliwych wartości zmiany planowanego zatrudnienia utworzonych zostało siedem zbiorów rozmytych: „zmniejsz bardzo”, „zmniejsz”, „zmniejsz trochę”, „nie zmieniaj”, „zwiększ trochę”, „zwiększ” i „zwiększ bardzo”. Na rysunku 3 przedstawiono wstępnie przyjęte funkcje przynależności zbiorów rozmytych do zbioru możliwych zmian planowanego zatrudnienia.

Wstępnie dobrano je jako funkcje trójkątne (Kacprzyk, 1986). Ostateczne funkcje przynależności zostaną dobrane na drodze analizy rzeczywistych danych z około 270 przedsięwzięć budowlanych udostępnionych przez wykonawcze firmy budowlane. Dane te dotyczą różnic między planowanym a rzeczywistym zatrudnieniem pracowników na budowie. Różnice te zgodnie z tezą stawianą przez autorki artykułu wynikają z wpływu analizowanych czynników pracotwórczych. Przyjęte do analizy dane poddano wstępnej selekcji w celu wykluczenia przedsięwzięć niereprezentatywnych, w których różnice między planowanym a rzeczywistym zatrudnieniem wynikały z wewnętrznych problemów organizacyjnych wykonawcy, a nie z wpływu analizowanych w badaniach czynników. W efekcie w porozumieniu z wykonawcami zostało odrzuconych kilkanaście inwestycji.

## Defuzyfikacja

W tym miejscu następuje proces defuzyfikacji, czyli wyostrzenia, który jest ostatnim procesem modelowania. Wśród



RYSunEK 3. Wykresy funkcji przynależności możliwych zmian planowanego zatrudnienia  
FIGURE 3. The membership functions of planned employment possible changes

dostępnych metod wyostrzania znajdują się m.in. (Kacprzyk 1986): metoda środka maksimum (ang. *middle of maxima*), metoda pierwszego maksimum (ang. *first of maxima*), metoda ostatniego maksimum (ang. *last of maxima*), metoda środka ciężkości (ang. *center of gravity*), metoda wysokości (ang. *height method*). Planuje się jako wyjściową przyjąć metodę środka ciężkości, ale ostatecznie przyjęta zostanie ta metoda, która da najlepsze rezultaty, tzn. takie, które są najbliższe rzeczywistości.

Po procesie defuzyfikacji uzyskuje się cztery współczynniki szczegółowe odnoszące się odpowiednio do technologii wykonania robót, organizacji pracy na budowie, zarządzania realizacją i cech projektowych. Wykonawca dzięki temu dostaje informacje o indywidualnym wpływie każdej grupy czynników. Na tej podstawie można dowiedzieć się, jak indywidualne cechy projektu, dobór technologii czy przyjęty sposób organizacji lub zarządzania odnoszą się do planowanej robocizny. Zwiększa to świadomość planisty o skutkach oddziaływania grup czynników i daje wiedzę, który obszar wymaga więcej uwagi, ewentualnej poprawy lub wzmożonej kontroli, zwłaszcza jeżeli wpływ czynników pracotwórczych spowoduje zalecenie dużego zwiększenia planowanej robocizny.

Dopiero na podstawie czterech wyostrzonych wartości współczynników szczegółowych zostanie utworzony jeden współczynnik korygujący, który będzie można bezpośrednio odnieść do planowanej robocizny, a który zbiorczo uwzględni wpływ wszystkich grup czynników jednocześnie. Wykonawca w ramach swoich potrzeb będzie mógł użyć tylko ostateczny wynik lub w celach bar-

dziej wnikliwej analizy sytuacji wyokrzystać wyostrzone wartości współczynników szczegółowych, czego korzyści wskazano we wcześniejszym akapicie.

Na podstawie przeprowadzonych badań (Plebankiewicz i Karcińska, 2014) widać, że ważność poszczególnych grup czynników jest na podobnym poziomie. Po wyznaczeniu znormalizowanej wagi wpływu dla każdej grupy czynników, można przypisać im następujące rangi: ranga 1: czynniki technologiczne – znormalizowana waga: 0,253; ranga 2: czynniki organizacyjne – znormalizowana waga: 0,241; ranga 3: czynniki związane z zarządzaniem – znormalizowana waga: 0,222; ranga 4: czynniki projektowe – znormalizowana waga: 0,284.

Po uzyskaniu na wyjściu modelu ostrych wartości współczynników szczegółowych, znormalizowane wagi zostaną wykorzystane w procesie określenia jednego zbiorczego współczynnika korygującego zaplanowaną ilość roboczogodzin.

## Podsumowanie i wnioski

Model planowania zatrudnienia na budowie pozwoli wykonawcy budowlanemu zweryfikować planowaną robociznę o wpływ dodatkowych czynników pracotwórczych. W artykule przedstawiono sposób zamodelowania wejść oraz ogólną postać opracowanych baz reguł. Zaprezentowano również schemat działania modelu oraz jego strukturę. Kolejnym krokiem jest szczegółowe opracowanie wyjść oraz weryfikacja uzyskiwanych wyników działania modelu. W tym celu zebrane w firmach budowlanych dane na temat robocizny w różnych



przedsięwzięciach budowlanych zostaną poddane analizie i weryfikacji. Dzięki temu możliwa będzie ocena przydatności modelu w jego praktycznym zastosowaniu w wykonawstwie budowlanym.

## Streszczenie

**Założenia modelu weryfikacji planowanej liczby roboczogodzin w wykonawstwie budowlanym.** W artykule przedstawiono założenia matematycznego modelu weryfikacji liczby roboczogodzin w wykonawstwie budowlanym oraz sposób jego działania. Model jest opracowywany według teorii zbiorów rozmytych, a wykorzystywaną metodą modelowania rozmytego jest wnioskowanie rozmyte w architekturze Mamdaniego i Zadeha. Przedstawiono wstępnie przyjęte funkcje przynależności wejść i wyjść modelu, a także sposób utworzenia bazy reguł. W dalszym etapie pracy należy potwierdzić przyjęte założenia i zweryfikować działanie modelu.

## Summary

**Assumptions of a planned number of man-hours verification model for construction works.** The article presents assumptions of a mathematical model of a planned number of man-hours verification on a construction site and the way it operates. The model is developed based on the theory of fuzzy sets, and the fuzzy modeling method used is fuzzy reasoning in the architecture of Mandani and Zadeh. The pre-accepted functions of assigning model inputs and outputs as well as the method of creating a rule base are presented. In the next stage of work, the assumptions made and the model's operation should be confirmed.

## Literatura

- Cieślak, M. (1997). *Prognozowanie gospodarcze – metody i zastosowania*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Chartered Institute of Building – CIOB (1991). *Planning and programming in construction. A guide to good practice*. Bracknell: Chartered Institute of Building.
- Gatignon, H. (2003). *Statistical analysis of management data*. New York: Springer.
- Jaśkowski, P. i Tomczak, M. (2017). Problem minimalizacji przestojów w pracy brygad generalnego wykonawcy w harmonogramowaniu przedsięwzięć budowlanych. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26, 193-201.
- Kacprzyk, J. (1986). *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*. Warszawa: PWN.
- Kacprzyk, J. (2001). *Wieloetapowe sterowanie rozmyte*. Warszawa: WNT.
- Karcińska, P. (2015). Teoria i praktyka sporządzania dokumentacji organizacji budowy. W J. Bzówka (red.) *Współczesny stan wiedzy i inżynierii lądowej* (strony 349-358). Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- Kulejewski, J. i Ibadov, N. (2010). Harmonogramowanie budowy z uwzględnieniem rozmytych czasów wykonania robót. *Czasopismo Techniczne*, 2(107), 231-247.
- Leśniak, A. (2014). Czynniki przetargowe w zamówieniach na dokumentację projektową. *Budownictwo i Architektura*, 13(4), 373-380.
- Leśniak, A., Piskorz, G., Spišáková, M. i Mačková, D. (2018). Causes of delays in construction works resulting from the provisions of the contract in Poland and Slovakia. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 27(1), 71-81.
- Marcinkowski, R. (2013). Planowanie organizacji robót budowlanych na podstawie analizy nakładów pracy zasobów czynnych. *Budownictwo i Architektura*, 12(1), 39-46.
- Marcinkowski, R. (2017). Modelowanie ograniczeń w metodzie pracy potokowej. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 26(2), 210-218.

Plebankiewicz, E. i Karcińska, P. (2014). Studies of factors affecting workforce planning in construction works. *Czasopismo Techniczne Budownictwo, 2-B*, 257-264.

Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa – PZiTb (1970). *Poradnik techniczny kierownika budowy*. Vol. 2. Warszawa: Arkady.

**Authors' address:**

Edyta Plebankiewicz, Agnieszka Leśniak,  
Patrycja Karcińska  
Politechnika Krakowska  
Wydział Inżynierii Lądowej  
Instytut Zarządzania w Budownictwie  
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków  
Poland  
e-mail: pkarcinska@L3.pk.edu.pl