

Mirosław Dytczak, Grzegorz Ginda

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Przetarg jako system „szary” – wspomaganie doboru ekspertów do oceny ofert

Streszczenie. Realizacja inwestycji publicznych ma wieloaspektowy, czasochłonny i kosztochłonny charakter i służy osiągnięciu określonych celów społeczno-gospodarczych. Proces inwestycyjny, angażując znaczne ilości zróżnicowanych zasobów, jest niestety podatny na patologie związane z realizacją partykularnych celów podmiotów zaangażowanych bezpośrednio lub pośrednio w te procesy. Sprzyja temu także niedoskonałość dostępnej informacji lub w ogóle jej brak.

W artykule zasygnalizowano możliwość zastosowania systemów „szarych” (ang. *grey systems*) dla częściowego uporania się z informacją niepełną i niepewną. Systemy te stanowią sprawdzone i uniwersalne narzędzie o znaczącym i zróżnicowanym potencjale aplikacyjnym. Wykorzystano jeden z wariantów analizy systemów „szarych” – „szarą” analizę relacyjną w odniesieniu do wyboru ekspertów zapewniających rzetelną ocenę ofert potencjalnych wykonawców.

Słowa kluczowe: inwestycja publiczna, decyzja, ekspert, ocena, system „szary”

1. Charakter współczesnych przetargów

Wprowadzenie możliwości finansowania inwestycji krajowych ze środków UE przyczyniło się do zwiększenia liczby i wartości realizowanych obecnie obiektów. W ich realizację zaangażowanych jest wiele podmiotów: inwestor, wykonawcy i inne jednostki współpracujące. W przypadku inwestycji publicznych znajdują się one dodatkowo pod szczególną kontrolą społeczną tak ze względu na zazwyczaj ograniczone, publiczne środki finansowe, jak i znaczące przepływy

finansów w często długich okresach. Inwestycjom takim towarzyszą więc ostatecznie zarzuty o mało staranne ich przygotowanie i nieumiejętność zarządzania. Wreszcie inwestycje publiczne mogą być postrzegane jako atrakcyjny środek realizacji osobistych i politycznych celów, sprzecznych z celami, osiągnięciu których służą. Pogłębianiu tego zjawiska sprzyja niedoskonałość istniejącego stanu prawnego, prowadząca do daleko posuniętej dowolności w interpretacji obowiązujących przepisów. Szczególnie dotkliwy wydaje się przy tym brak precyzyjnie sformułowanych uregulowań prawnych gwarantujących właściwe, z perspektywy interesu społecznego i gospodarczego, wykorzystanie środków przeznaczanych na realizację inwestycji publicznych.

W szeroko pojętym interesie społecznym i gospodarczym leży więc zaimplementowanie przejrzystych procedur, pozwalających na skuteczne eliminowanie lub ograniczenie nieprawidłowości wpływających na efekty realizacji publicznych przedsięwzięć inwestycyjnych. Eliminacji skutków niedoskonałości prawa sprzyja zastosowanie naukowo zweryfikowanej, racjonalnej i transparentnej metodyki wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Ułatwia ona bowiem właściwe wyrażanie wieloaspektowego charakteru zagadnień decyzyjnych pojawiających się w trakcie przygotowania i realizacji inwestycji.

Zauważmy także, że efekty realizacji inwestycji zależą od dostępności niezbędnej informacji. Jej niedostatki mogą więc wpływać na skalę nieprawidłowości towarzyszących procesom przygotowywania i wykonywania inwestycji. Niedoskonały charakter dostępnej informacji może wynikać z różnych przyczyn, np. trudnomierzalności cech i zależności pomiędzy elementami rozważanego zagadnienia decyzyjnego, braków w ocenie cech i zależności itp.

W celu wiarygodnego modelowania zagadnień decyzyjnych, którym towarzyszy informacja o takim charakterze, są wykorzystywane odpowiednie podejścia – przykładowo logika i zbiory rozmyte. Ich zastosowanie wiąże się jednak z brzemionnymi skutkami, z których występowania nie zdajemy sobie z reguły sprawy. Zwróćmy uwagę na to, że liczby rozmyte służą modelowaniu obiektów o nieostrych granicach. Przy tym jest jednak konieczne precyzowanie przebiegu funkcji przynależności tych liczb. Wynik zastosowania zbiorów rozmytych jest więc obciążony skutkami decyzji związanej z przyjęciem określonej postaci funkcji przynależności.

Dlatego do uwzględnienia niedoskonałego charakteru informacji towarzyszącej zagadnieniom decyzyjnym związanym z przygotowaniem i realizacją inwestycji publicznych zaproponowano wykorzystanie elementów systemów „szarych” (ang. *grey systems*)¹. W odróżnieniu od liczb rozmytych pozwalają one modelować obiekty o wyraźnie określonych granicach, lecz o nieokreślonej

¹ J.-L. Deng, *Control Problems of Grey Systems*, „Systems and Control Letters” 1982, t. 5, s. 288-294.

postaci wewnętrznej². Zastosowanie systemów „szarych” nie wymaga więc od użytkownika precyzowania wewnętrznej formy obiektu. Użyciu systemów „szarych” sprzyja również fakt, że znacznie łatwiejsze jest wiarygodne określenie granic niż wewnętrznej formy obiektów. Dzięki tym własnościom ułatwiają one uwzględnianie niedoskonałości dostępnej informacji w modelowaniu zagadnień decyzyjnych. Pozwalają przy tym modelować niejasne zagadnienia w bardzo precyzyjny sposób.

Zwróćmy również uwagę na to, że dla zapewnienia transparentności i obiektywności procesu udzielania zamówień publicznych oraz dla efektywnej realizacji inwestycji została opracowana ustawa Prawo zamówień publicznych³. W odniesieniu do z natury kosztownych przedsięwzięć inwestycyjnych jako podstawowy sposób udzielania zamówienia na realizację inwestycji przewiduje ona tryb przetargowy. Zauważmy jednak, że wszelkie korzyści z tego płynące mogą zostać łatwo utracone w wyniku wyboru niewłaściwych osób – ekspertów badających oferty składane przez potencjalnych wykonawców i rekomendujących wybór konkretnego wykonawcy. W celu wyeliminowania wynikających stąd nieprawidłowości przy udzielaniu zamówienia, należy zadbać więc o dobór ekspertów gwarantujących wyłonienie rzetelnego wykonawcy. **Warto przy tym dążyć do skomponowania zespołu ekspertów zorientowanych na wzajemną współpracę, a nie na konflikty.** Taka konstrukcja zespołu sprzyja unikaniu niepowodzeń i pojawieniu się wartości dodanej wskutek synergii wynikającej ze współpracy ekspertów. Stąd też ważną rolę przy budowaniu zespołu ekspertów odgrywają cechy psychologiczne potencjalnych ekspertów oraz pomoc psychologa.

W pracy przedstawiono propozycję systemu wykorzystującego jedno z podejść teorii systemów „szarych” – „szarą” analizę relacyjną (ang. *Grey Relational Analysis*, GRA) do wspomaganie wielokryterialnego wyboru ekspertów dokonujących oceny ofert składanych przez potencjalnych wykonawców przedsięwzięć publicznych w ramach postępowania przetargowego. W systemie tym jest wykorzystywana oficjalna baza danych ekspertów oraz „szara” analiza relacji.

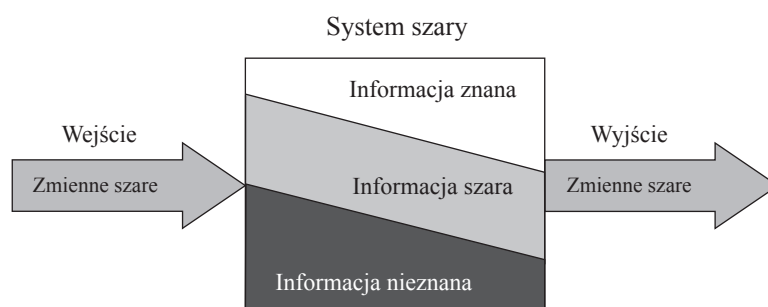
W dalszej części opracowania przedstawiono wybrane elementy teorii systemów „szarych”. Zaakcentowano przy tym zróżnicowanie możliwości ich zastosowań. Szczegółowo omówiono przy tym „szarą” analizę relacyjną. W części opisującej proponowany system do doboru ekspertów przedstawiono przykład obliczeniowy ilustrujący zasady zastosowania „szarej” analizy relacyjnej do rangowania ekspertów.

² N. Slavek, A. Jović, *Application of Grey System Theory to Software Projects Ranking*, „Automatica” 2012, t. 53(2), s. 284-293.

³ Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych, Dz.U. nr 19, poz.177 z późn. zm.

2. Systemy „szare” i ich zastosowania

Pojęcie systemu jest stosowane do opisu tworów o zróżnicowanym, np. biologicznym, społecznym, gospodarczym lub technicznym, charakterze. W trakcie modelowania współczesnych systemów napotykamy na braki w opisującej je informacji. Dostępna informacja ma bowiem często ograniczony, niekompletny i niepewny charakter. Dążenie do wykorzystania z informacji o takim charakterze stało się przyczynkiem do opracowania przez Denga⁴ koncepcji modelowania systemów przy zastosowaniu abstrakcyjnego pojęcia systemu „szarego”. Na system „szary” w ujęciu Denga składają się 3 rodzaje informacji: „biała” (pewna, znana), „czarna” (niepewna, nieświadomiona, nieznaną) oraz „szara” – o pośrednim niedoskonałym charakterze. Dzięki zastosowaniu odpowiednich narzędzi analizy systemów „szarych” jesteśmy w stanie „wybielić” część informacji „szarej” i poszerzyć udział informacji „szarej” kosztem informacji „czarnej” (rys.1).



Rys.1. Koncepcja systemu „szarego” i jego analizy

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J.-L. Deng, *Introduction to Grey System Theory*, „The Journal of Grey System” 1989, nr 1, s. 1-24.

Systemy „szare” są stosowane w różnych celach. Deng⁵ przykładowo wskazuje następujące zastosowania systemów „szarych”:

- zastępowanie modeli regresyjnych modelami niefunkcyjnymi,
- zastępowanie procesów stochastycznych dzięki zastosowaniu procesu „szarego” (ang. *Grey Process*, GP) pozwalającego modelować procesy przy wykorzystaniu niewielkiej liczby danych,
- tworzenie szeregów z nieuporządkowanych danych dla ułatwienia modelowania procesów,
- budowa modelu „szarego” (ang. *Grey Model*) zastępującego model różniczkowy,

⁴ J.-L. Deng, *Introduction to Grey System Theory*, „The Journal of Grey System” 1989, nr 1, s. 1-24.

⁵ Ibidem.

- tworzenie metod prognozowania „szarego” zastępujących analizę szeregów czasowych,
- rozwój innowacyjnych idei we wspomaganiu decyzji – „szarego” wspomaganie decyzji,
- opracowanie predykcyjnego sterowania „szarego”,
- badania nad teorią mechanizmów z uwzględnieniem „szarej” teorii sekwencji oraz „szarej” teorii konstrukcji,
- badania nad funkcjami oddającymi emocje i zmysły,
- rozwój matematyki uwzględniający „szare” relacje, „szare” elementy i „szare” liczby.

Zróżnicowanie zastosowań systemów „szarych” stanowi rezultat bogactwa szczegółowych koncepcji ich teorii:

- „szarej” przestrzeni relacyjnej (ang. *Grey Relational Space*, GRS), służącej do opisu relacji między podstawowym czynnikiem a innymi czynnikami w systemie „szarym”,
- „szarej” przestrzeni generacyjnej (ang. *Grey Generating Space*, GGS), pozwalającej na przetwarzanie surowych danych w serie danych za pomocą odpowiednich operatorów,
- „szarego” modelowania (ang. *Grey Modeling*, GM), związanego z zastosowaniem modeli $G(N, n)$ złożonych z systemów równań różniczkowych N -tego stopnia z n zmiennymi, zbudowanych na podstawie niewielkiej liczby danych i służących tworzeniu serii danych na podstawie nieuporządkowanych danych,
- „szarego” prognozowania (ang. *Grey Forecasting*, GF), które obejmuje zarówno przewidywanie wystąpienia zdarzeń katastrofalnych (niesezonowych – ang. *Grey Calamity Prediction*, GCP lub sezonowych – ang. *Grey Seasonal Calamity Prediction*, GSCP), jak i prognozowanie topologiczne (ang. *Grey Topological Prediction*, GTP) ujmujące zmiany postaci zależności opisującej określone zagadnienie oraz systemowe (ang. *Grey Systematic Prediction*, GSP) związane z zestawami zmiennych opisujących zagadnienie),
- „szarego” wspomaganie decyzji (ang. *Grey Decision Making*, GDM), realizowanego w jednej z 3 postaci: sytuacyjnej strategii „szarej” (ang. *Grey Strategy of Situation*, GSS) – wykorzystującej gry do rozwiązywania sytuacji konfliktowych, „szarego” programowania (ang. *Grey Programming*) wykorzystującego programowanie dynamiczne z „szarymi” wartościami współczynników optymalizowanej funkcji celu i ograniczeń oraz „szarego” wspomaganie decyzji w grupie (ang. *Grey Decision Making of Group*, GDMG) stanowiącego rodzaj wielopoziomowej analizy wykorzystującej 3 elementy: „szarą” statystykę (np. do modelowania decyzji rynku), „szare” przewidywanie (np. do oceny produktów przez ekspertów), „szarą” analizę skupień (np. do modelowania strategii menedżerów) i „szarą” przestrzeń relacyjną (np. do określania wypadkowej strategii),

– „szarego” sterowania predykcyjnego (ang. *Grey Prediction Control*, GPC) pozwalającego w sposób adaptacyjny, dokładny i zapobiegający awariom kontrolować funkcjonowanie nadzorowanego systemu.

Powyższe koncepcje są implementowane w postaci procedur tzw. wybielania (ang. *whitening*). Można przy tym wyróżnić:

– „szare” generowanie (ang. *Grey Generating*), wyjaśniające powiązania między danymi w ramach tzw. procesu wybielania sekwencji danych (ang. *whitening of a sequence of numbers*),

– „szare” modelowanie (GM), polegające na budowie „szarych” równań wariacyjnych i „szarych” równań różniczkowych w procesie wybielania modelu (ang. *whitening of the model*),

– „szarą” predykcję (ang. *Grey Prediction*), wykorzystującą proces wybielania rozwoju badanego zagadnienia (ang. *whitening of development*) do prognozowania wartości szeregu czasowego,

– „szarą” decyzję (ang. *Grey Decision*), korzystającą z procesu wybielania statusu (ang. *whitening of status*) uwzględniającego niejasność sytuacji decyzyjnej – w tym celu są stosowane elementy grupowego wspomaganie decyzji (ang. *Group Decision Making*, GDM),

– „szarą” analizę relacyjną (ang. *Grey Relational Analysis*, GRA), związaną z procesem wybielania relacji czynników (ang. *whitening of factor relation*), prowadzącym do kwantyfikacji wpływów czynników i relacji między nimi na podstawie informacji o podobieństwie i zmienności czynników.

Do wyrażania niepełnej informacji w „szarych” systemach służą ich 3 podstawowe składniki: „szara” liczba, „szary” element oraz „szara” relacja. Szczególną rolę w „szarych” systemach odgrywa „szary” model pierwszego stopnia i jednej zmiennej oznaczany jako GM(1,1). Pozwala on identyfikować relacje między danymi sekwencyjnymi. Na podstawie zidentyfikowanych relacji jest następnie budowany model predykcyjny.

W praktyce wspomaganie decyzji jest często wykorzystywana „szara” analiza relacji GRA.

3. Procedura obliczeniowa „szarej” analizy relacyjnej

„Szara” analiza relacyjna stanowi popularne narzędzie wspomaganie decyzji. Sprawdza się ona dobrze jako narzędzie do rangowania. Wypada przy tym korzystnie na tle innych metod wielokryterialnego wspomaganie decyzji⁶.

⁶ Y. Kuo, T. Yang, G.W. Huang, *The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems*, „Computers and Industrial Engineering” 2008, t. 55, s. 80-93.

Rangowania rozważanych obiektów – kryteriów, wariantów decyzji itd. – dokonuje się w GRA na podstawie wartości „szarego” stopnia relacji (ang. *Grey Relational Grade*) przyporządkowanych rangowanym obiektom. W celu wykonania obliczeń wykorzystujemy typową macierz decyzji \mathbf{X} grupującą cząstkowe oceny obiektów. Wiersze macierzy odpowiadają kolejnym obiektom, np. wariantom decyzji, podczas gdy jej kolumny odpowiadają poszczególnym cechom obiektów, nazywanych w GRA czynnikami wpływającymi (ang. *influencing factors*). W przypadku m obiektów i n czynników macierz decyzji przedstawiamy następująco:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1(1) & x_1(2) & x_1(3) & \dots & x_1(n) \\ x_2(1) & x_2(2) & x_2(3) & \dots & x_2(n) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m-1}(1) & x_{m-1}(2) & x_{m-1}(3) & \dots & x_{m-1}(n) \\ x_m(1) & x_m(2) & x_m(3) & \dots & x_m(n) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdzie symbolem $x_i(k)$ wyrażono cząstkową ocenę i -tego obiektu z uwagi na j -ty czynnik wpływający.

Poszczególne cechy mogą stanowić stymulanty, destymulanty lub nominanty. Dla zapewnienia ich porównywalności staje się więc konieczna ich odpowiednia transformacja. W tym celu można przykładowo użyć formuły znanej z metody unitaryzacji zerowanej⁷:

– dla stymulant:

$$\bar{x}_i(k) = \frac{x_i(k) - \min_i x_i(k)}{\max_i x_i(k) - \min_i x_i(k)}, \quad (2)$$

– dla destymulant:

$$\bar{x}_i(k) = \frac{\max_i x_i(k) - x_i(k)}{\max_i x_i(k) - \min_i x_i(k)}, \quad (3)$$

– dla nominant:

$$\bar{x}_i(k) = \begin{cases} \frac{x_i(k) - \min_i x_i(k)}{c_0(k) - \min_i x_i(k)} & \text{dla } x_i(k) < c_0(k), \\ \frac{x_i(k) - \max_i x_i(k)}{c_0(k) - \max_i x_i(k)} & \text{dla } x_i(k) \geq c_0(k), \end{cases} \quad (4)$$

gdzie $c_0(k)$ stanowią wartości nominalne poszczególnych czynników wpływających ($k = 1, 2, \dots, n$).

⁷ K. Kukuła, *Metoda unitaryzacji zerowanej*, WN PWN, Warszawa 2010.

Po sprowadzeniu czynników do stanu porównywalności możemy wyznaczyć znormalizowany odpowiednik macierzy \mathbf{X} – macierz \mathbf{U} , stanowiącą podstawę dalszych obliczeń. Wykorzystujemy przy tym dowolnie określone wagi $w(k)$ wyrażające relatywny wpływ poszczególnych czynników:

$$\sum_{k=1}^n w(k) = 1, \quad w(k) \geq 0. \quad (5)$$

Elementy znormalizowanej macierzy \mathbf{U} wyznaczymy z zależności:

$$u_i(k) = w(k) \cdot \bar{x}_i(k). \quad (6)$$

Na podstawie zawartości kolumn macierzy \mathbf{U} można wyznaczyć referencyjne zestawy wartości czynników – zestaw idealny $u_i^+(k)$ i antyidealny $u_i^-(k)$. Zwykle przyjmuje się przy tym odpowiednio maksymalne i minimalne wartości ocen obiektów:

$$u_i^+(k) = \max_i u_i(k), \quad u_i^-(k) = \min_i u_i(k). \quad (7)$$

Zauważmy przy tym, że nie zawsze będziemy zainteresowani wyborem skrajnych wartości cząstkowych ocen obiektów. Na przykład w przypadku gdy zależy nam raczej na dopasowaniu rozważanych obiektów do obiektów referencyjnych o niekoniecznie ekstremalnych wartościach czynników, do definiowania zestawów $u_i^+(k)$ oraz $u_i^-(k)$ można wykorzystać pośrednie wartości ważonych cząstkowych ocen obiektów.

Przy rangowaniu obiektów uwzględniamy podobieństwo odpowiadających im zestawów wartości czynników do zestawów referencyjnych. Oczywiście wyżej są oceniane obiekty o zestawach wartości czynników bardziej podobnych do zestawu idealnego i mniej podobnych do zestawu antyidealnego. Podobieństwo to wyraża względny stopień „szarej” relacji (ang. *Relative Grey Relational Grade*)⁸. Obiektowi i -temu odpowiada stopień R_i o wartości wynikającej z zastosowania zależności:

$$R_i = \frac{R_i^+}{R_i^+ + R_i^-}, \quad (8)$$

gdzie R_i^+ jest „szarym” stopniem relacji (podobieństwa) łączącej zestaw wartości czynników wpływających, odpowiadających i -temu obiektowi z referencyjnym zestawem idealnym, natomiast R_i^- stanowi „szary” stopień relacji łączącej zestaw wartości czynników wpływających, odpowiadających i -temu obiektowi z referencyjnym zestawem antyidealnym.

⁸ P. Wang, P. Meng, J.-Y. Zhai, Z.-Q. Zhu, *A hybrid method using experiment design and grey relational analysis for multiple criteria decision making problems*, „Knowledge-Based Systems” 2013, t. 53, s. 100-107.

Wartości „szarych” stopni relacji otrzymujemy na podstawie zależności:

$$R_i^+ = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_i^+(k), \quad R_i^- = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n r_i^-(k), \quad (9)$$

w których $r_i^+(k)$ oraz $r_i^-(k)$ oznaczają „szare” współczynniki relacji, odnoszące się odpowiednio do relacji łączącej cząstkowe oceny i -tego obiektu z ocenami zestawu idealnego $u_i^+(k)$ i antyidealnego $u_i^-(k)$.

Wartości współczynników relacji wynikają z zastosowania formuł:

$$r_i^+(k) = \frac{\Delta_{\min}^+ + \xi \Delta_{\max}^+}{\Delta u_i^+(k) + \xi \Delta_{\max}^+}, \quad r_i^-(k) = \frac{\Delta_{\min}^- + \xi \Delta_{\max}^-}{\Delta u_i^-(k) + \xi \Delta_{\max}^-}, \quad (10)$$

w których: $\Delta u_i^+(k)$ i $\Delta u_i^-(k)$ stanowią bezwzględne wartości różnic między wartościami poszczególnych czynników uzyskanymi dla i -tego obiektu oraz odpowiednio idealnym i antyidealnym zestawem wartości czynników:

$$\Delta u_i^+(k) = |u_i^+(k) - u_i(k)|, \quad \Delta u_i^-(k) = |u_i(k) - u_i^-(k)|, \quad (11)$$

Δ_{\min}^+ , Δ_{\max}^+ , Δ_{\min}^- , Δ_{\max}^- oznaczają najmniejsze i największe różnice między wartościami czynników odpowiadającymi wariantom decyzji a idealnymi i antyidealnymi zestawami wartości czynników:

$$\Delta_{\min}^+ = \min_i \left\{ \min_k \Delta u_i^+(k) \right\}, \quad \Delta_{\max}^+ = \max_i \left\{ \max_k \Delta u_i^+(k) \right\}, \quad (12)$$

$$\Delta_{\min}^- = \min_i \left\{ \min_k \Delta u_i^-(k) \right\}, \quad \Delta_{\max}^- = \max_i \left\{ \max_k \Delta u_i^-(k) \right\}, \quad (13)$$

ξ jest współczynnikiem należącym do przedziału od 0 do 1, wyrażającym wpływ maksymalnych odchyleń wartości czynników określonych dla obiektów od wartości ekstremalnych – zwykle $\xi = 0,5$.

Procedura wykorzystująca GRA do rangowania obiektów składa się więc z następujących etapów:

- 1) budowa macierzy decyzji \mathbf{X} – wzór (1),
- 2) określenie wag czynników $w(k)$ – wzór (5),
- 3) sprowadzenie stymulant, destymulant i nominant do porównywalnej postaci – wzory (2)-(4),
- 4) normalizacja macierzy \mathbf{X} , połączona z ważeniem dla uzyskania macierzy \mathbf{U} – wzór (6),
- 5) określenie zestawów wartości $u_i^+(k)$ oraz $u_i^-(k)$,
- 6) wyznaczenie różnic: $\Delta u_i^+(k)$, $\Delta u_i^-(k)$ (11) oraz ich wartości ekstremalnych Δ_{\min}^+ , Δ_{\max}^+ , Δ_{\min}^- , Δ_{\max}^- – wzory (12), (13),

7) przyjęcie wartości współczynnika ζ i określenie wartości „szarych” współczynników relacji $r_i^+(k)$, $r_i^-(k)$ – wzór (10),

8) wyznaczenie „szarych” stopni relacji R_i^+ , R_i^- – wzór (9),

9) obliczenie względnych „szarych” stopni relacji R_i – wzór (8),

10) rangowanie obiektów na podstawie wartości względnego „szarego” stopnia relacji R_i .

Zauważmy przy tym, że względny „szary” stopień relacji R_i wyraża podobieństwo względem idealnego zestawu $u_i^+(k)$, a więc stanowi stymulantę. Kolejność w rankingu odpowiada zatem uporządkowaniu obiektów według malejącej wartości R_i .

4. Propozycja systemu wspomaganie wyboru ekspertów

4.1. Eksperti w zamówieniach publicznych

Ustawa⁹ wymaga zastosowania odpowiednich procedur przy udzielaniu zamówień publicznych. Z uwagi na znaczne koszty publicznych przedsięwzięć budowlanych, wyboru ich wykonawców dokonuje się stosując postępowanie przetargowe. W art. 19 ustawy jest mowa o powoływaniu komisji przetargowej przez kierownika podmiotu zamawiającego realizację przedsięwzięcia publicznego. Zgodnie z art. 20 ustawy komisja ma pomocniczy charakter i jest wykorzystywana do oceny spełniania przez wykonawców wymagań postawionych w specyfikacji przetargu oraz do badania i oceny ofert. Komisja proponuje wykluczenie nierzetelnych oferentów z postępowania przetargowego, odrzucenie oferty oraz występuje z wnioskiem o unieważnienie postępowania w sprawie udzielenia zamówienia. Najważniejsza rola komisji polega jednak na rekomendacji najkorzystniejszej oferty. W art. 21 ustawy jest mowa o tym, że o zmianach w składzie komisji decyduje kierownik. Komisja musi się składać z co najmniej 3 osób. Tryb pracy komisji i zakres obowiązków jej członków ustala kierownik podmiotu zamawiającego, mając na uwadze zapewnienie sprawności i przejrzystości jej działania oraz indywidualizację odpowiedzialności członków komisji. Art. 21 przewiduje możliwość powoływania biegłych, z inicjatywy kierownika podmiotu zamawiającego lub komisji. Możliwość powoływania biegłych uzasadniają ważne względy związane z koniecznością pozyskania specjalnej informacji.

Dalekosiężny czasowo i przestrzennie wpływ decyzji podejmowanych w trakcie wyłaniania wykonawcy przedsięwzięcia publicznego sprawia, że doboru ekspertów – członków komisji przetargowej i biegłych – nie można pozostawiać przypadkowi. Zwróćmy przy tym uwagę na fakt, że ustawa obarcza

⁹ Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych, Dz.U. nr 19, poz.177 z późn. zm.

odpowiedzialnością za właściwy dobór członków komisji i biegłych kierownika podmiotu zamawiającego. W jego interesie leży więc zapewnienie obiektywnego doboru tych ludzi. Niestety, zbyt często kierownikom brakuje tej świadomości i wyboru członków dokonują w subiektywny, uznaniowy sposób. Takiemu nieracjonalnemu i nieodpowiedzialnemu postępowaniu sprzyja również brak odpowiedniej, łatwo dostępnej i rzetelnej informacji o potencjalnych ekspertach (istnieją listy ekspertów zawierające głównie dane adresowe i dyscyplinę eksperta), a także naciski polityczne, presja ekonomiczna i społeczna oraz inne wpływy wymuszające właśnie takie zachowanie przy wyborze ekspertów.

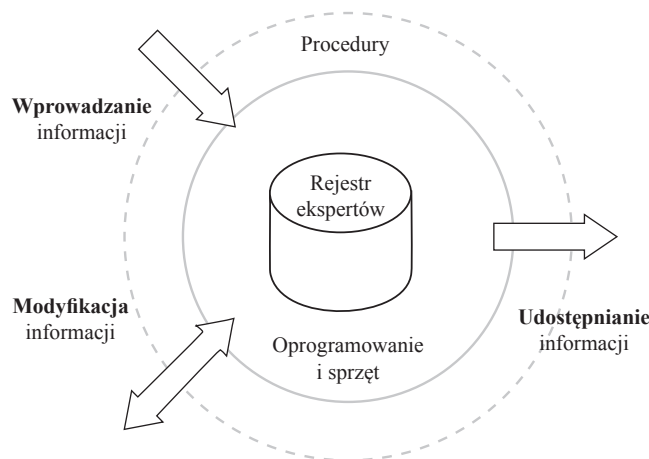
Dla rzetelnej oceny dostępnych ekspertów jest wymagane jednoczesne uwzględnienie wielu kryteriów. Z jednej strony są to atrybuty merytoryczne, np. kwalifikacje, doświadczenie, znajomość specyfiki realizacji i finansowania przedsięwzięć publicznych, z drugiej zaś mamy do czynienia z określonymi oczekiwaniami ekspertów, a także ich cechami psychologicznymi i społecznymi, które mogą sprzyjać lub zagrażać właściwej współpracy i osiągnięciu synergii w trakcie prac komisji przetargowej. Konieczność uwzględniania atrybutów psychologicznych ekspertów sprawia, że dla właściwego ich wyboru jest często wykorzystywana pomoc psychologa. Jego zadanie polega na wskazaniu ekspertów predysponowanych do mediacji, negocjacji i współpracy.

Liczne kryteria wyboru ekspertów sprawiają, że przy doborze właściwych ekspertów warto wykorzystać sprawdzone narzędzia – metody wielokryterialnego wspomaganie decyzji. Dzięki ich zastosowaniu osiągamy szereg korzyści – od poprawnego, przemyślanego sformułowania zadania wyboru ekspertów począwszy, a na rzetelnej wielokryterialnej ocenie ekspertów skończywszy. Zauważmy, że dzięki zastosowaniu GRA można przy tym również uwzględnić wpływ niedoskonałości dostępnej informacji na temat ekspertów, a także wykorzystać informację „czarną” (rys. 1), z której charakteru i potencjalnej użyteczności nie zdajemy sobie nawet sprawy.

4.2. System informacji o ekspertach

Jak wykazano wcześniej, brak właściwej bazy wiedzy na temat dostępnych ekspertów może stanowić jeden z poważniejszych powodów niewłaściwego doboru ekspertów do komisji przetargowych oraz wyboru biegłych. Dla zbudowania takiej bazy konieczne jest ustalenie atrybutów ekspertów, stanowiących jednocześnie kryteria oceny ekspertów. Należy przy tym zadbać o uwzględnienie kompletu niezbędnych atrybutów o zarówno profesjonalnej, psychologicznej, jak i społecznej naturze. Przy tym korzystne jest również uwzględnienie informacji o aktualnej przestrzennej i czasowej dostępności ekspertów. Tak zróżnicowany zestaw atrybutów powoduje konieczność zaangażowania szeregu specjalistów i wykorzystania zróżnicowanych źródeł informacji o potencjalnych ekspertach.

Pozyskiwanie i przetwarzanie takiej informacji może ułatwić zastosowanie oficjalnego, scentralizowanego na poziomie kraju, regionu lub województwa, rejestru ekspertów, stanowiącego wraz z odpowiednim oprogramowaniem i sprzętem komputerowym system bazodanowy (rys. 2).



Rys. 2. Schemat bazodanowego systemu informacji o ekspertach

Źródło: opracowanie własne.

Dla zapewnienia wiarygodności informacji przechowywanej w systemie i udostępnianej przez system konieczne jest opracowanie odpowiednich procedur jej pozyskiwania, przetwarzania i udostępniania. Należy również zadbać o autoryzację dostępu do zgromadzonych danych oraz ich tworzenia i modyfikacji.

Warto także zwrócić uwagę na zagadnienie wagi wpływu poszczególnych czynników na wybór ekspertów. Obiektywnej ocenie ekspertów na pewno służyłoby powiązanie wartości wag wyrażających znaczenie poszczególnych czynników z charakterem przedsięwzięcia i wynikającymi stąd potrzebami. Informacja taka musi oczywiście być dostępna dla procedur przetwarzania informacji w systemie bazodanowym.

4.3. Procedura wyboru ekspertów

Procedura wyboru ekspertów przedstawia się następująco:

- 1) sformułowanie wymagań przez kierownika zamawiającego,
- 2) wyodrębnienie (preselekcja) ekspertów spełniających ogólne wymagania,
- 3) ostateczny wybór ekspertów na podstawie wymagań szczegółowych.

Formułowane wymagania należy dostosować do charakteru informacji przechowywanej w rejestrze ekspertów. Może w tym pomóc zastosowanie odpowiednich

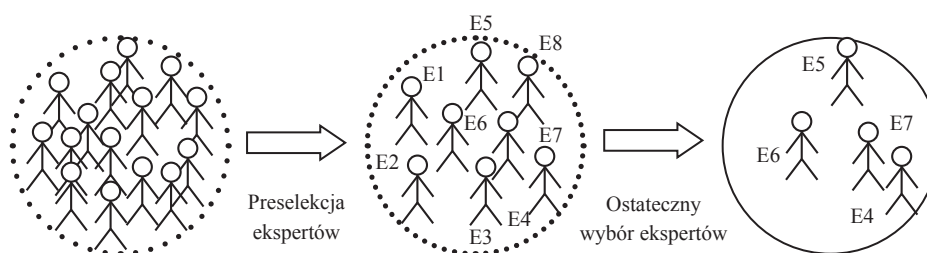
modułów oprogramowania pozwalających we właściwy sposób formułować wymagania zarówno formalne, np. dostępności czasowej i przestrzennej ekspertów, jak i merytoryczne, np. doświadczenie, umiejętności, oraz osobowe.

Wymagania formalne pozwalają przeprowadzić analizę dyskryminacyjną ujawniającą dostępnych ekspertów. Przykładowo można w tym celu wykorzystać informacje o czasowej i przestrzennej dostępności ekspertów oraz wymagane progowe wartości merytorycznych i osobowych cech ekspertów.

Ostateczny wybór ekspertów odbywa się na podstawie ich rankingu otrzymanego po uwzględnieniu wartości cech merytorycznych i osobowych. Wybrani zostają eksperci zajmujący liczbę czołowych miejsc odpowiadającą zapotrzebowaniu na członków komisji.

Dla zapewnienia obiektywności procesu wyboru ekspertów rolę kierownika zamawiającego ograniczono do minimum. Sprowadza się ona tylko do wyartykułowania wymagań. Przetwarzanie informacji zawartej w rejestrze ekspertów odbywa się natomiast automatycznie, dzięki zastosowaniu odpowiednich procedur. W efekcie system dostarcza listę ekspertów, na wybór których zamawiający nie ma bezpośredniego wpływu.

Schemat procesu wyboru ekspertów przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Proces wyboru ekspertów

Źródło: opracowanie własne.

W celu zilustrowania zastosowania GRA do wyboru ekspertów posłużymy się przykładem związanym z etapem ostatecznego ich wyboru. Podobny sposób postępowania można zastosować w przypadku preselekcji ekspertów na podstawie wymagań formalnych.

4.4. Przykład obliczeniowy – zastosowanie GRA do wyboru ekspertów

Przykładowa inwestycja wiąże się z budową publicznego garażu wielostanowiskowego w zabudowie śródmiejskiej. Garaż składa się z jednej kondygnacji podziemnej i 2 kondygnacji naziemnych. Powierzchnia działki wynosi 3080 m², powierzchnia zabudowy około 2393 m², powierzchnia użytkowa garażu około 9208 m². Szacowany

koszt realizacji tego przedsięwzięcia wynosi około 13-14 mln złotych, a czas realizacji – około 1,5 roku. Kierownik komisji przetargowej organizuje zespół ekspertów pomagający w ocenie ofert nadsyłanych przez potencjalnych wykonawców.

Rozpatruje on możliwość zatrudnienia 4 ekspertów. W trakcie dokonywania ostatecznego wyboru ekspertów uwzględniane są następujące czynniki: ogólne kwalifikacje K, doświadczenie D, znajomość specyfiki realizacji przedsięwzięć B, znajomość specyfiki finansowania inwestycji F, oczekiwania eksperta O. Zauważmy, że ostatni z czynników jest destymulantą, a pozostałe stymulantami. W tabeli 1 zestawiono wyniki wstępnej oceny kandydatów, wynikające z informacji zawartej w rejestrze ekspertów. Do częściowej oceny poszczególnych ekspertów zostały wykorzystane następujące skale oceny ekspertów:

- 0 – nienadający się (brak oczekiwań),
- 1 – bardzo słaby (bardzo niskie wymagania),
- 2 – słaby (niskie wymagania),
- 3 – przeciętny (przeciętne wymagania),
- 4 – dobry (wysokie wymagania),
- 5 – bardzo dobry (bardzo wysokie wymagania).

W nawiasach opisano poziomy ocen odpowiadających czynnikowi oczekiwań eksperta.

Warto przy tym zwrócić uwagę na fakt, że samo zagadnienie identyfikacji kluczowych kryteriów oceny ekspertów również stanowi temat wart zainteresowania. Tym bardziej, że już podejmowano takie próby, ale w odniesieniu do nieco innych zastosowań¹⁰.

Żałujemy, że w rezultacie preselekcji wskazano 8 dostępnych ekspertów oznaczonych symbolami E1-E8. Odpowiadające im częściowe oceny czynników wpływających przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie ocen częściowych kandydatów do komisji przetargowej

Ekspert	K	D	B	F	O
E1	5	4	3	5	5
E2	4	5	5	3	4
E3	3	4	5	4	3
E4	4	4	5	5	2
E5	5	3	4	5	1
E6	4	5	3	4	0
E7	5	4	5	4	4
E8	3	4	4	5	1

Źródło: opracowanie własne.

¹⁰ W.-W. Wu, Y.-T. Lee, *Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method*, „Expert Systems With Applications” 2007, t. 32(2), s. 499-507.

Macierz decyzji przedstawia się następująco:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 5 & 4 & 3 & 5 & 5 \\ 4 & 5 & 5 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 5 & 4 & 3 \\ 4 & 4 & 5 & 5 & 2 \\ 5 & 3 & 4 & 5 & 1 \\ 4 & 5 & 3 & 4 & 0 \\ 5 & 4 & 5 & 4 & 4 \\ 3 & 4 & 4 & 5 & 1 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Załóżmy, że specyfice przykładowej inwestycji odpowiada następująca struktura znaczenia czynników. Największe znaczenie przypisano czynnikowi doświadczenia i znajomości specyfiki realizacji inwestycji: $w(2) = w(3) = 0,25$, nieco mniejsze oczekiwaniom i ogólnym kwalifikacjom: $w(5) = w(1) = 0,20$, a najmniejsze znajomości specyfiki finansowania inwestycji: $w(4) = 0,10$.

W odniesieniu do 4 pierwszych czynników wykorzystano formułę normalizacyjną (2), a w przypadku ostatniego czynnika – formułę (3). W rezultacie zastosowania zależności (6) otrzymano następującą ważoną macierz znormalizowaną:

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,125 & 0 & 0,1 & 0 \\ 0,1 & 0,25 & 0,25 & 0 & 0,04 \\ 0 & 0,125 & 0,25 & 0,05 & 0,08 \\ 0,1 & 0,125 & 0,25 & 0,1 & 0,12 \\ 0,2 & 0 & 0,125 & 0,1 & 0,16 \\ 0,1 & 0,25 & 0 & 0,05 & 0,2 \\ 0,2 & 0,125 & 0,25 & 0,05 & 0,04 \\ 0 & 0,125 & 0,125 & 0,1 & 0,16 \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Na podstawie zależności (11, 12, 13, 10) otrzymujemy następujące macierze „szarych” współczynników relacji:

$$\mathbf{R}^+ = [r_i^+(k)] = \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0,33 & 1 & 0,38 \\ 0,56 & 1 & 1 & 0,56 & 0,44 \\ 0,38 & 0,5 & 1 & 0,71 & 0,51 \\ 0,56 & 0,5 & 1 & 1 & 0,61 \\ 1 & 0,33 & 0,5 & 1 & 0,76 \\ 0,56 & 1 & 0,33 & 0,71 & 1 \\ 1 & 0,5 & 1 & 0,71 & 0,44 \\ 0,38 & 0,5 & 0,5 & 1 & 0,76 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

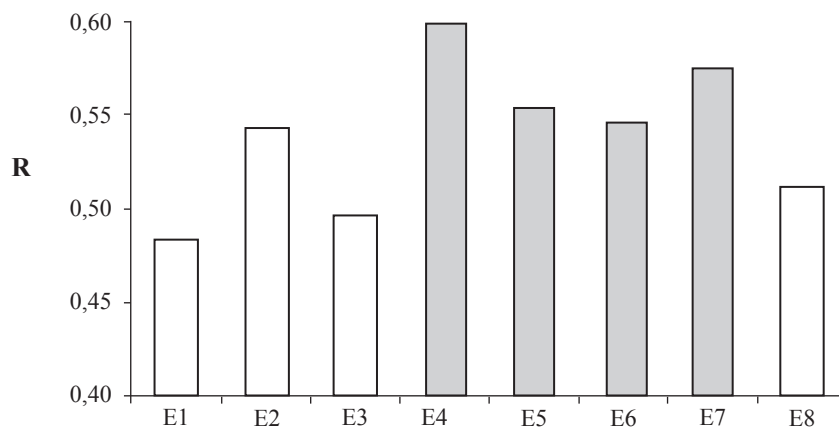
$$\mathbf{R}^- = [r_i^-(k)] = \begin{bmatrix} 0,38 & 0,5 & 1 & 0,56 & 1 \\ 0,56 & 0,33 & 0,33 & 1 & 0,76 \\ 1 & 0,5 & 0,33 & 0,71 & 0,61 \\ 0,56 & 0,5 & 0,33 & 0,56 & 0,51 \\ 0,38 & 1 & 0,5 & 0,56 & 0,44 \\ 0,56 & 0,33 & 1 & 0,71 & 0,38 \\ 0,38 & 0,5 & 0,33 & 0,71 & 0,76 \\ 1 & 0,5 & 0,5 & 0,56 & 0,44 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

W tabeli 2 przedstawiono wartości „szarych” stopni relacji R_i^+ , R_i^- otrzymane na podstawie wzoru (9), wartości względnego „szarego” stopnia relacji R_i wyznaczone na podstawie wzoru (8) oraz wynikający stąd ranking ekspertów. Rezultaty analizy przedstawiono również na rysunku 4. Zgodnie z nim najlepszymi 4 kandydatami okazali się eksperci: E4, E7, E5, E6 i to oni zostali zaangażowani do komisji przetargowej.

Tabela 2. Rezultaty obliczeń

Ekspert	R_i^+	R_i^-	R_i	Pozycja
E1	0,64	0,69	0,48	8
E2	0,71	0,60	0,54	5
E3	0,62	0,63	0,50	7
E4	0,73	0,49	0,60	1
E5	0,72	0,58	0,56	3
E6	0,72	0,60	0,55	4
E7	0,73	0,54	0,58	2
E8	0,63	0,60	0,51	6

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4. Ostateczny ranking ekspertów

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie i wnioski

Procesy prowadzące do realizacji współczesnych inwestycji publicznych mają złożony, wieloaspektowy charakter. Uzyskiwanie właściwych efektów wykonania inwestycji jest jednak uwarunkowane jakością decyzji podejmowanych w trakcie jej przygotowania. Właściwe decyzje są w stanie przygotować jedynie odpowiedni fachowcy. Zagadnieniu ich wyboru warto więc poświęcić szczególną uwagę w trakcie przygotowywania inwestycji.

Jakość decyzji zależy jednak również od dostępu do właściwej informacji, która zwykle ma niedoskonały charakter. W celu odpowiedniego wykorzystania tej informacji staje się więc konieczne zastosowanie odpowiednich narzędzi, dzięki którym, nawet na podstawie niedoskonałej informacji, będą podejmowane właściwe decyzje. Takich narzędzi dostarcza właśnie teoria „szarych” systemów.

W artykule przedstawiono zarys procedury wyboru ekspertów do komisji przetargowej. Zaproponowano zastosowanie w tym celu bazodanowego systemu zawierającego rejestr ekspertów oraz „szarej” analizy relacji GRA dla zapewnienia wyboru właściwych ekspertów. Przedstawiony przykład obliczeniowy ujawnia zalety jej zastosowania, do których niewątpliwie należy prostota obliczeń, ułatwiająca precyzyjny sposób ujmowania informacji.

Zauważmy przy tym, że zróżnicowany aparat formalny analizy systemów „szarych” nadaje się także do wspomaganie innego rodzaju decyzji podejmowanych w trakcie przygotowywania i realizacji inwestycji. W przyszłości warto więc rozważyć jego zastosowanie w procedurach przetargowych, co powinno skutkować wyższą efektywnością realizacji inwestycji publicznych.

Literatura

- Deng J.-L., *Control Problems of Grey Systems*, „Systems and Control Letters” 1982, t. 5.
- Deng J.-L., *Introduction to Grey System Theory*, „The Journal of Grey System” 1989, nr 1.
- Kukuła K., *Metoda unitaryzacji zerowanej*, WN PWN, Warszawa 2010.
- Kuo Y., Yang T., Huang G.W., *The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems*, „Computers and Industrial Engineering” 2008, t. 55.
- Slavek N., Jović A., *Application of Grey System Theory to Software Projects Ranking*, „Automatica” 2012, t. 53(2).
- Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. Prawo zamówień publicznych, Dz.U. nr 19, poz.177 z późn. zm.
- Wang P., Meng P., Zhai J.-Y., Zhu Z.-Q., *A hybrid method using experiment design and grey relational analysis for multiple criteria decision making problems*, „Knowledge-Based Systems” 2013, t. 53.
- Wu W.-W., Lee Y.-T., *Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method*, „Expert Systems With Applications” 2007, t. 32(2).

A tender as a grey system – supporting selection of experts for evaluating bids

Summary. Execution of a public construction project comprises a multidimensional, time consuming and costly process. The project deals with achievement of given social and economic goals. A considerable amount of diverse resources is engaged in execution of a construction project. Project execution process is sensitive to pathological phenomena dealing with particular goals of stakeholders involved in project preparation and execution. Pathological phenomena are favored by imperfect nature of available information and lack of information. Application of grey systems for utilising imperfect and uncertain information is suggested in the paper. Grey systems provide reliable and universal tools of large and diverse applicational potential. One of grey systems theory concepts, namely Grey Relational Analysis (GRA), is therefore applied to support unbiased selection of experts to provide the necessary means for reliable evaluation of bids related to a public procurement tender.

Key words: public project, decision, expert, evaluation, grey system