

2. Wstępna selekcja wykonawców robót budowlanych z zastosowaniem logiki rozmytej

2.1. Wprowadzenie

Wybór właściwego wykonawcy robót budowlanych jest gwarancją pomyślnego zakończenia przedsięwzięcia budowlanego oraz zwiększa szanse osiągnięcia stawianych w nim celów, jakimi są przede wszystkim dotrzymanie planowanego kosztu i czasu (terminu) realizacji oraz jakości robót.

Wykonawcy robót budowlanych są wylaniani głównie w trybach przetargowych. Przetargi dają wprawdzie zamawiającemu szansę udzielenia zamówienia wykonawcy, który proponuje najniższą cenę i krótkie cykle budowy, ale zazwyczaj nie pozwalają na precyzyjną ocenę oferenta. Równocześnie, rośnie ilość postępowań, w których ostatecznym kryterium wyboru oferty jest jedynie cena. Natomiast wyniki badań wskazują, że najtańszy oferent ma często problem z zakończeniem przedsięwzięcia. Hatush i Skitmore (1997) uważają, że akceptacja najniższej ceny jest podstawową przyczyną problemów z realizacją przedsięwzięcia, ponieważ bardzo często obniżka ceny wiąże się z obniżką jakości.

Wymienione uwarunkowania sprawiają, że szczególnego znaczenia nabiera właściwa ocena potencjału wykonawcy do wykonania powierzonych mu zadań. Może ona przybierać różne formy i być przeprowadzana w różnych etapach wyboru wykonawców. W wielu krajach we wstępnym etapie procedury wyboru wykonawcy stosuje się prekwalifikację.

W najprostszym ujęciu prekwalifikacja jest procedurą przed – przetargową, pozwalającą wybrać najbardziej odpowiednich kandydatów, spośród deklarujących chęć udziału w przetargu (Hatush & Skitmore, 1997).

Prekwalifikacja jest procedurą zalecaną m. in. przez Międzynarodową Federację Inżynierów Konsultantów (Fédération Internationale Des Ingénieurs-Conseils) – FIDIC. Jako pomoc dla zamawiających i wykonawców został opracowany standardowy formularz prekwalifikacyjny, pozwalający zachować jednolitą formę poszukiwań informacji, a zarazem ułatwiając ich wzajemne porównanie (Międzynarodowa Federacja Inżynierów Konsultantów, Standardowy formularz prekwalifikacyjny dla wykonawców, I wydanie, 1992.) Podobnie Bank Światowy opublikował „Standardowe dokumenty prekwalifikacyjne” (Procurement of works: major equipment and industrial installation, The World Bank, Washington, D.C., 1993). Na pierwszej stronie, wydanego przez Azjatycki Bank Rozwoju (Asian Development Bank), „Przewodnika prekwalifikacji wykonawców robót budowlanych”, można przeczytać: „Jest powszechną praktyką międzynarodową, że w większości kontraktów na roboty budowlane, wymagana jest prekwalifikacja wy-

³ Edyta Plebankiewicz, dr hab. inż. Instytut Zarządzania w Budownictwie i Transporcie, Politechnika Karakowska

konawców.” (Guide on prequalification of civil works contractors, Asian Development Bank, Manila, Philippines, 1992).

W wielu krajach należących do Unii Europejskiej prowadzone są oficjalne wykazy lub systemy rejestracji wykonawców. W krajach takich jak Australia, Stany Zjednoczone sektor publiczny ma szczegółowo opracowane zasady i procedury prekwalifikacji. Wiele organizacji sektora publicznego opracowuje listy kompetentnych wykonawców, które są następnie wykorzystywane przez zamawiających publicznych, a częściowo też prywatnych.

Obowiązujące w Polsce w odniesieniu do zamówień publicznych przepisy ustawy Prawo zamówień publicznych z 29.01.2004 roku (Dz. U. z 2010 r. Nr 113, poz. 759 i Nr 161, poz. 1078), nie przewidują stosowania wstępnej selekcji wykonawców, jako procedury przed przetargowej. Kompetencje wykonawców są sprawdzane w początkowym etapie procedury przetargowej bądź negocjacyjnej, z różnym stopniem szczegółowości, w zależności od wartości zamówienia oraz decyzji zamawiającego. Stosowanie procedury prekwalifikacji w sektorze publicznym jest więc w dużym stopniu utrudnione albo wręcz niemożliwe.

Właściwa procedura prekwalifikacji jest z kolei coraz częściej stosowana przez zamawiających prywatnych, a także w przedsięwzięciach o charakterze międzynarodowym. Jednak zamawiający zazwyczaj nie posiadają wypracowanej i usystematyzowanej procedury prekwalifikacyjnej. W procesie prekwalifikacji stosuje się różnego typu kryteria oceny wykonawców. Często same kryteria jak i uzyskiwane od wykonawców informacje są z natury nieprecyzyjne, subiektywne. W wielu wypadkach zamawiający po zebraniu wymaganych informacji nie wiedzą, w jaki sposób racjonalnie je wykorzystać.

W wielu krajach przeprowadzono badania dotyczące różnych aspektów związanych z kryteriami prekwalifikacji. Opracowano także modele matematyczne prekwalifikacji, mające wielorakie zastosowanie praktyczne.

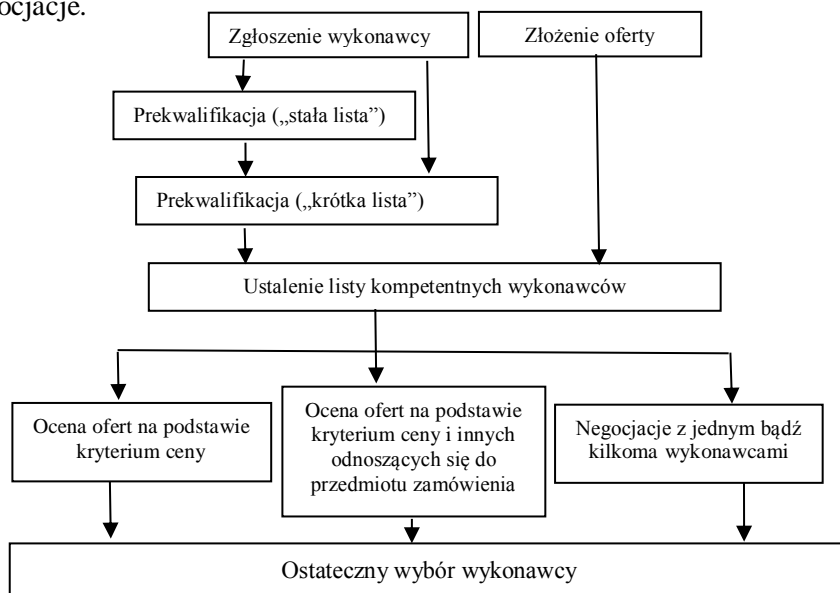
2.2. Proponowana procedura prekwalifikacji

Zamawiający wybierając wykonawcę, może zastosować bezpośrednio jeden z trybów przetargowych lub negocjacyjnych, bądź poprzedzić go pewną formą wstępnej selekcji (prekwalifikacji). Na rys. 2.1 przedstawiono najczęściej wykorzystywane procedury wyboru wykonawcy.

Wybór wykonawcy zamawiający może poprzedzić procedurą wstępnej selekcji. Prekwalifikacja może mieć formę grupowania wykonawców najlepiej przygotowanych do wykonania określonego rodzaju przedsięwzięć. Prowadzi to w efekcie do stworzenia „stałej listy” wykonawców. Zakwalifikowani na stałą listę mogą ubiegać się o realizację konkretnych inwestycji - selekcja „per project”. W efekcie prowadzi to do powstania „krótkiej listy”. Te dwa rodzaje wstępnej selekcji, mogą stanowić jej dwa etapy, tzn. z wykonawców zakwalifikowanych na „stałą listę”, tworzona jest „krótka lista”, dla konkretnego przedsięwzięcia. Selekcja „per project” nie musi być poprzedzona selekcją na „stałą listę”. Efektem prekwalifikacji jest ustalenie listy kompetentnych wykonawców.

W przypadku, gdy nie jest stosowana wstępna selekcja, wykonawcy składają oferty w odpowiedzi na ogłoszenie bądź zaproszenie zamawiającego. Ustalenie kompetencji wykonawców następuje tu zazwyczaj na podstawie danych w ofercie.

Tak więc selekcja kompetentnych wykonawców może odbywać się w różnej formie. Zazwyczaj dopiero z tej grupy, zamawiający wybiera wykonawcę, oceniając złożoną przez niego ofertę, według założonych kryteriów, bądź prowadząc z nim negocjacje.



Rys. 2.1. Najczęściej stosowane procedury wyboru wykonawcy

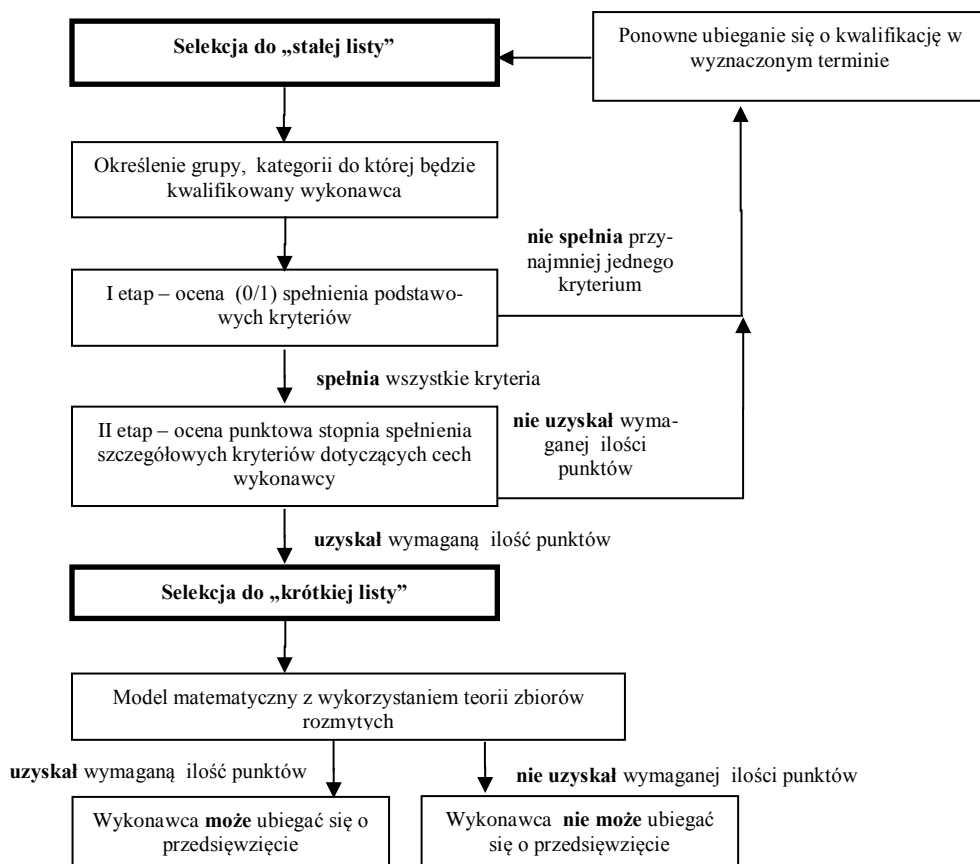
Źródło: opracowanie własne

Biorąc pod uwagę doświadczenie państw, gdzie procedura prekwalfikacji jest szczegółowo opracowana i powszechnie stosowana zaproponowano schemat procedury wstępnej selekcji wykonawców, możliwej do zastosowania przez ogół zamawiających prywatnych. Przedstawiono go na rys. 2.2.

Pierwszy etap procedury to selekcja na „stałą listę”. Ma on na celu wstępną ocenę możliwości wykonawcy.

Początkowym krokiem jest klasyfikacja wykonawców. Wykonawca, który zamierza poddać się procedurze prekwalfikacji, w pierwszej kolejności musi ustalić do jakiej grupy, kategorii, itp., chce być zakwalifikowany. Podziały te mogą mieć różną formę i dotyczyć zarówno cech przedsięwzięcia (np. rodzaj robót, obiektów), jak i wykonawcy (np. wielkość firmy). Charakterystyka wykonawcy pozwala na szczegółowe określenia górnego zakresu wartości danego rodzaju robót (kategoria wykonawcy), który rozpatrywany wykonawca może wykonywać (system stosowany np. w Portugalii). Wprowadzona klasyfikacja jest indywidualna i zależy od potrzeb zamawiającego. Jest ona szczególnie zalecana dla zamawiających, którzy zlecają realizację robót budowlanych różnego rodzaju i o zróżnicowanym zakresie. Wpływa to na późniejsze kształtowanie kryteriów prekwalfikacji. Przykładowo w przypadku realizacji robót ogólnobudowlanych będzie wymagany inny sprzęt niż dla robót drogowych. Realizacja dużej, złożonej inwestycji będzie wymagała zaangażowania

firmy o odpowiednim potencjale finansowym i kadrowym, który nie jest konieczny do wykonania drobnych robót remontowych.



Rys. 2.2. Schemat procedury prekwalifikacji

Źródło: opracowanie własne

Kolejny krok procedury to ocena spełnienia podstawowych kryteriów. Ma ona na celu wykluczenie wykonawców, którzy są niewiarygodni, np. są w stanie upadłości lub w przeszłości dopuścili się rażących błędów w realizacji inwestycji. Pytania te oceniane są w systemie 0/1 - wykonawcy, którzy nie spełnią któregokolwiek kryterium są wykluczani z dalszego postępowania. W tej sytuacji, mogą oni ubiegać się o ponowną kwalifikację w wyznaczonym terminie, po zmianie sytuacji powodującej wykluczenie.

Pozostali kandydaci przechodzą do następnego etapu, w którym są zobowiązani do udzielenia szczegółowych informacji, stanowiących podstawę oceny wykonawcy przez zamawiającego. Rodzaj wymaganych informacji jak i sposób ich oceny jest uzależniony od różnych czynników, m. in. od rodzaju (kategorii, grupy) przedsięwzięć, do wykonania których jest klasyfikowany wykonawca, a także wymagań samego zamawiającego. Zakres wymaganych informacji dotyczy zazwyczaj doświadczenia, sytuacji finansowej, zasobów kadrowych, sprzętowych, reputacji wykonawcy itp. Są to podstawowe informacje uzyskiwane od wykonawcy w spe-

cialnie przygotowanym formularzu. Ich sformułowanie powinno pozwolić na jednoznaczną, wymierną ich ocenę.

W przykładzie zaproponowano ocenę punktową uzyskanych informacji. Zamawiający powinien określić próg punktowy, powyżej którego wykonawca zostanie wpisany na listę. W przypadku nie uzyskania odpowiedniej ilości punktów, wykonawca ma możliwość ubiegania się o zakwalifikowanie do innej kategorii, grupy (jeśli wymagania w niej stawiane pozwalają na uzyskanie przez wykonawcę odpowiedniej ilości punktów), lub może ubiegać się o ponowną kwalifikację w wyznaczonym terminie, po poprawie własnej kondycji.

Dopiero wykonawcy, którzy znaleźli się na liście, mogą ubiegać się o realizację konkretnych przedsięwzięć. Dokonywana w taki sposób selekcja na „krótką listę” jest zazwyczaj dokładniejsza, a kryteria w niej stosowane, mogą być związane z konkretnym przedsięwzięciem.

Przykładowo wykonawca może tu być proszony o podanie proponowanych źródeł finansowania inwestycji (wraz z udokumentowaną wysokością posiadanych środków finansowych lub zdolności kredytowej), czasu zapłaty faktur, proponowanej obsady kluczowych stanowisk do realizacji inwestycji, wraz z danymi kandydatów, nazw i adresów współpracowników zaznajomionych z postępowaniem celem, wizowym itp., których przedsiębiorstwo ma w kraju, gdzie będą wykonywane roboty, danych o przedsiębiorstwach stowarzyszonych – proponowanych renomowanych podwykonawcach.

W wielu wypadkach określane tu kryteria jak i uzyskiwane informacje są nieprecyzyjne i subiektywne. Do oceny wykorzystywane są różnego typu modele matematyczne. W zaproponowanym przykładzie procedury, uwzględniono model z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych, przedstawiony bliżej w dalszej części opracowania.

2.3. Kryteria selekcji wykonawców robót budowlanych

W literaturze można znaleźć szereg opracowań dotyczących kryteriów prekwalfikacji – m. in. (Al-Harbi, 2001; Hatush & Skitmore, 1997; Holt, 1996; Khosrowshahi, 1999; Kumarasaswamy, 1996; Russell & Skibniewski, 1988; Russell & Skibniewski, 1990; Wong, 2004). Na podstawie literatury a także badań własnych wśród inwestorów zarówno prywatnych jak i publicznych wyselekcjonowano podstawowe kryteria przedstawione w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Kryteria selekcji wykonawców robót budowlanych

Kryteria	Przykładowe podkryteria (cechy wykonawcy)
Sytuacja finansowa	1. stabilność finansowa 2. posiadane środki finansowe i zdolność kredytowa
Możliwości techniczne	1. doświadczenie firmy w realizacji inwestycji danego typu 2. posiadany sprzęt i wyposażenie 3. doświadczenie kadry technicznej 4. długość czasu działalności firmy
Zdolności organizacyjne	1. wcześniejsze inwestycje i ich jakość 2. posiadana kadra kierownicza 3. polityka kontroli jakości 4. system zarządzania jakością 5. system zarządzania przedsięwzięciami 6. wiedza menedżerska
Przestrzeganie zasad BHP	1. wypadkowość 2. system zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy 3. posiadana polisa ubezpieczeniowa
Reputacja	1. sukces w zakończonych przedsięwzięciach 2. renoma i opinia rynkowa firmy 3. posiadane referencje od poprzednich zamawiających 4. wcześniejsze niepowodzenia w realizowanych przedsięwzięciach 5. wcześniejsze relacje z klientami 6. współpraca z kontrahentami

2.4. Modele prekwalfikacji

Wyselekcjonowanie podstawowych kryteriów prekwalfikacji, było podstawą do budowy modeli wspomagających zamawiających w podejmowaniu decyzji dotyczącej wstępnej kwalifikacji wykonawców. Literatura podaje kilkanaście modeli prekwalfikacji. Najważniejsze z nich, według rosnącego stopnia ich skomplikowania, także z podaniem źródła modeli, zestawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Modele prekwalfikacji wykonawców według literatury przedmiotu

Rodzaj modelu	Źródła informacji o modelu
Model wagowy	(Jaselskis & Russell, 1991)
Model wagowy rozszerzony	(Russell & Skibniewski, 1990)
Model dwustopniowy	(Russell, 1992)
Formuła prekwalfikacyjna	(Russell, 1992)
Model finansowy	(Hatush & Skitmore, 1997)
Model liniowy	(Hatush & Skitmore, 1997)
Model liniowy wykorzystujący przybliżenie PERT	(Nguyen, 1985); (Singh & Tiong, 2005)
Model oparty na zbiorach rozmytych	(Jaselskis & Russell, 1991)
Model statystyczny	(Russell, Skibniewski & Cozier, 1990)
Model wykorzystujący systemy eksperckie	(Russell, 1992)
Model hybrydowy	(Fong & Choi, 2000); (Al-Harbi, 2001)
Model wykorzystujący analityczny proces hierarchiczny (AHP)	(Lam, Hu, Ng, Skitmore & Cheung, 2001); (Khosrowshahi, 1999); (Elazouni, 2006); (Palan-eeswaran & Kumaraswamy, 2005)
Model wykorzystujący sieci neuronowe	(Lam, Hu & Ng, 2005)
Metoda analizy czynników głównych	(Lam, Hu & Ng, 2005)

2.5. Założenia modelu prekwalfikacji z zastosowaniem zbiorów rozmytych

Budowa modelu ujmującego wszystkie uwarunkowania procesu prekwalfikacji nie jest zadaniem łatwym. W ocenie wykonawców brana jest pod uwagę duża ilość kryteriów, które z kolei są charakteryzowane przez odpowiednie podkryteria. Nie wszystkie kryteria są dla zamawiającego tak samo ważne. Ocena zarówno stopnia ważności kryteriów jak i stopnia ich spełnienia przez wykonawcę, jest często subiektywna a jej miara trudna w jednoznacznym ustaleniu, np. ważna w ocenie „reputacja wykonawcy”. Nie jest łatwym zadaniem także uzgodnienie jednej wspólnej skali ocen dla wszystkich kryteriów.

Nie bez znaczenia są także cele, jakie stawia sobie zamawiający w danym przedsięwzięciu. Najczęściej wymieniane w literaturze cele, do których dąży się w większości inwestycji budowlanych, to czas, koszt i jakość robót. W zależności od różnych czynników, przede wszystkim przeznaczenia inwestycji, zamawiający może przywiązywać różną wagę do tych celów. Np. w przypadku prestiżowej inwestycji, najważniejsza może być jej jakość, przy mniejszej wadze przywiązywanej do jej kosztu. Z kolei w przypadku inwestycji budowanej na sprzedaż, jej jakość może być mniej ważna niż koszt czy termin realizacji.

Hatash i Skitmore (1997) przeprowadzili badania, których założeniem było poznanie wpływu wyselekcjonowanych kryteriów prekwalfikacji na cele przedsięwzięcia. Badania przeprowadzono w Anglii, w 8 - miu wybranych profesjonalnych instytucjach – 3 z nich byli to zamawiający publiczni, 5 – zamawiający prywatni. Wyniki badań pozwoliły na ustalenie rankingu 20 kryteriów prekwalfikacji, biorąc pod uwagę ich wpływ na wymienione wcześniej cele przedsięwzięcia. Zgodnie z uzyskanymi rezultatami badań, „niepowodzenia w realizacji poprzednich inwestycji”, to kryterium mające największy wpływ na wszystkie trzy cele. Inne kryteria mające duży wpływ na wszystkie trzy cele to: „status finansowy”, „możliwości, zdolności”, „personel menadżerski (kadra)”, „doświadczenie”. Pewne czynniki można uznać za ważne dla osiągnięcia tylko dwóch celów. Takie kryterium to „gwarancje bankowe” – ważne dla celów: czas i koszt a mniej ważne dla jakości. Z kolei „wiedza menadżerska”, „zarządzanie przedsięwzięciami”, „wcześniejsze inwestycje” są ważne dla celów: czas i jakość, mniej ważne dla kosztu. Określenie stopnia ważności celów dla zamawiającego, jest często w dużej mierze subiektywne.

Ocen w procesie prekwalfikacji dokonuje zazwyczaj zespół decydentów powołany przez zamawiającego. Zespół ten składa się ze specjalistów z różnych dziedzin. Najczęściej są to pracownicy zamawiającego, ale w niektórych przypadkach mogą to być także eksperci zewnętrzni, którzy np. oceniają pozycję wykonawcy na rynku, reputację. Dodatkowy problem stanowi więc konieczność uwzględnienia w modelu ocen wielu decydentów.

Dążenie do ujęcia ilościowego, wartości uchodzących jeszcze do niedawna za niemierzalne, doprowadziło w latach sześćdziesiątych do powstania teorii zbiorów rozmytych i jej szerokiego zastosowania w podejmowaniu decyzji. Formalny opis teorii zbiorów rozmytych został wprowadzony w 1965 r. przez Zadeh'a (1965) i jego uważa się za głównego twórcę tej teorii.

W zaproponowanym modelu oceniane elementy traktowane są jako zmienne lingwistyczne. Zadeh (1965) proponuje następujące pojęcie zmiennej lingwistycznej: "Przez zmienną lingwistyczną rozumiemy zmienną, której wartościami są słowa lub zdania w języku naturalnym lub sztucznym". Możemy ją opisać w następujący sposób:

$$(X, LX, x, Mx) \quad (2.1)$$

X – symboliczna nazwa zmiennej lingwistycznej np.: wzrost, temperatura, wiek, ocena celu,
 LX – zbiór wartości lingwistycznych, które może przyjąć X np.: dla zmiennej lingwistycznej „ocena celu”, zbiorem wartości może być {bardzo ważny, ważny, ...},

x – rzeczywista, ilościowa dziedzina fizyczna zmiennej X ;

Mx – funkcja przeliczająca wartości lingwistyczne, na elementy ilościowe x .

W modelu wykorzystano pojęcie a także operacje przeprowadzane na liczbach rozmytych. W literaturze można znaleźć różne ich definicje. Jedną z najdokładniejszych definicji została podana przez Goetschel i Voxmann (1983). Liczba rozmyta A to szczególny rodzaj zbioru rozmytego określonego na zbiorze liczb rzeczywistych ($X = R$), który dodatkowo spełnia następujące warunki:

- jest normalny, czyli istnieje argument, dla którego funkcja przyjmuje wartość 1,
- jest wypukły

- zbiór A jest wypukły, gdy

$$\forall x, y \in X \quad \forall \lambda \in [0;1] \quad \mu_A(\lambda \cdot x + (1 - \lambda) \cdot y) \geq \min(\mu_A(x), \mu_A(y)),$$

- nośnik funkcji $\mu_A(x)$ jest przedziałem,

- $\mu_A(x)$ jest funkcją przedziałami ciągłą.

W modelu zostaną zastosowane liczby rozmyte o wykresie trapezowym i trójkątnym. Opis trapezowej funkcji przynależności przedstawiany jest także w literaturze poprzez tabelę wartości (wzór 2.2)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ (x - x_1)/(x_2 - x_1), & x_1 < x < x_2 \\ 1, & x_2 < x < x_3 \\ (x_4 - x)/(x_4 - x_3), & x_3 < x < x_4 \\ 0, & x > x_4 \end{cases} \quad (2.2)$$

Opis trójkątnej funkcji przynależności przedstawiany jest także w literaturze poprzez tabelę wartości (wzór 2.3)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < x_1 \\ (x - x_1)/(x_2 - x_1), & x_1 < x < x_2 \\ (x_3 - x)/(x_3 - x_2), & x_2 < x < x_3 \\ 0, & x > x_3 \end{cases} \quad (2.3)$$

Liczbę rozmytą można zinterpretować jako czwórkę $\{x_1, x_2, x_3, x_4\}$. x_2 i x_3 oznaczają przedział, w którym funkcja przynależności osiąga wartość 1. x_1 i x_4 oznaczają lewą i prawą szerokość rozkładu funkcji przynależności.

Liczbę rozmytą o wykresie trapezowym, możemy więc jednoznacznie określić przez zadanie uporządkowanej czwórki liczb i zapisać jako:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} \quad (2.4)$$

Liczbę rozmytą o wykresie trójkątnym, możemy jednoznacznie określić przez zadanie uporządkowanej czwórki liczb i zapisać jako:

$$X = \{x_1, x_2, x_2, x_3\} \quad (2.5)$$

Na dwóch liczbach rozmytych $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, $B = \{b_1, b_2, b_3, b_4\}$, możemy przeprowadzić operacje dodawania, odejmowania, mnożenia i dzielenia. Przedstawiają je wzory 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 (Kaufmann & Gupta, 1991).

Dodawanie:

$$\begin{aligned} A \oplus B &= (a_1, a_2, a_3, a_4) \oplus (b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3, a_4 + b_4) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Odejmowanie:

$$\begin{aligned} A(-)B &= (a_1, a_2, a_3, a_4)(-)(b_1, b_2, b_3, b_4) \\ &= (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3, a_4 - b_4) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Mnożenie:

$$A \otimes B = (a_1, a_2, a_3, a_4) \otimes (b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3, a_4 b_4) \quad (2.8)$$

Dzielenie:

$$A(\cdot)B = (a_1, a_2, a_3, a_4)(\cdot)(b_1, b_2, b_3, b_4) = (a_1 / b_1, a_2 / b_2, a_3 / b_3, a_4 / b_4) \quad (2.9)$$

Zakładając, że ocen, w formie liczby rozmytej, dokonuje zespół decydentów, według ustalonych kryteriów, koniecznym jest ustalenie średniej oceny. Można ją wyrazić wzorem:

$$A_{ij}^k = (1/p) \otimes (a_{i1}^k \oplus a_{i2}^k \oplus \dots \oplus a_{ip}^k) \quad \forall j = 1, 2, \dots, p \quad (2.10)$$

gdzie:

- k – ilość wariantów oceny ($k = 1, \dots, 4$),
- i – ocena kryterium ($i = 1, \dots, m$), m – ilość kryteriów oceny,
- j – decydent ($j = 1, \dots, p$), p – ilość decydentów,

Dla liczby rozmytej trapezowej, wartość wyostżenia możemy określić następująco (Kaufmann & Gupta, 1991):

$$e = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / 4 \quad (2.11)$$

Dla liczby rozmytej trójkątnej, wartość wyostżenia możemy określić następująco (Kaufmann & Gupta, 1991):

$$e = (x_1 + 2x_2 + x_3) / 4 \quad (2.12)$$

Oprócz pojęcia zbioru, następnym podstawowym pojęciem wykorzystywanym w modelu jest pojęcie relacji rozmytej. Tak jak zbiór rozmyty jest uogólnieniem zbioru nierozmytego, tak relacja rozmyta jest uogólnieniem relacji nierozmytej.

Relację rozmytą dwuargumentową R między dwoma zbiorami (nierozmytymi) $X = \{x\}$ i $Y = \{y\}$ definiujemy jako zbiór rozmyty określony na iloczynie kartezjańskim $X \times Y$, tzn. $R \subseteq X \times Y = \{(x, y) : x \in X, y \in Y\}$ (Kaufmann & Gupta, 1991). Jest ona więc zbiorem par $R = \{(\mu_R(x, y), (x, y))\}$, $\forall x \in X, \forall y \in Y$, gdzie:

$\mu_R: X \times Y \rightarrow [0, 1]$ jest funkcją przynależności relacji rozmytej R przypisującą każdej parze (x, y) , $x \in X, y \in Y$, jej stopień przynależności $\mu_R(x, y) \in [0, 1]$, będący miarą intensywności relacji rozmytej R między x i y .

W naszych rozważaniach kluczową rolę odgrywa pojęcie złożenia dwu relacji rozmytych. Określenie złożenia relacji może stanowić przykład niejednorodności teorii zbiorów rozmytych. W literaturze spotykamy różne definicje złożenia relacji, przy czym najczęściej definiowane jest złożenie relacji typu max-min.

Załóżmy, że mamy trzy zbiory nierozmyte $X = \{x\}$, $Y = \{y\}$ i $Z = \{z\}$ wraz z określonymi na nich dwiema relacjami rozmytymi $R \subseteq X \times Y$ i $G \subseteq Y \times Z$ o funkcjach przynależności $\mu_R(x,y)$ i $\mu_G(y,z)$.

W opracowaniu wykorzystano definicję podaną przez Klir i Folger (1988):

Złożeniem typu max-min relacji rozmytych $R \subseteq X \times Y$ i $G \subseteq Y \times Z$ nazywamy relację rozmytą $R \circ G \subseteq X \times Z$ o funkcji przynależności

$$\mu_{R \circ G}(x,z) = \max \min(\mu_R(x,y), \mu_G(y,z)) \quad (2.13)$$

W opracowanym modelu prekwalfikacji występuje także złożenie typu sum-min relacji rozmytych, które możemy zdefiniować następująco:

Złożeniem typu cum-min relacji rozmytych $R \subseteq X \times Y$ i $G \subseteq Y \times Z$ nazywamy relację rozmytą $R \circ G \subseteq X \times Z$ o funkcji przynależności (Russel i Fayek, 1994):

$$\mu_{R \circ G}(x,z) = \text{sum} \min(\mu_R(x,y), \mu_G(y,z)) \quad (2.14)$$

Po raz pierwszy zbiory rozmyte zostały wykorzystane do budowy modelu pozwalającego na selekcję wykonawców przez Nguyen'a (1985). Zaproponował on procedurę wyboru oferty przetargowej, biorąc pod uwagę trzy kryteria: cenę, prezentację informacji przetargowych i doświadczenie oraz różne scenariusze preferencji zamawiającego. Ciekawy model prekwalfikacji, bazujący na zbiorach rozmytych zaprezentowali Singh i Tiong (2005). Model pozwala uwzględnić różnego typu kryteria i charakteryzujące je podkryteria. Model uwzględnia subiektywne oceny (preferencje) przyznawane przez wielu decydentów. Decydenci w ocenie zarówno kryteriów jak i stopnia spełnienia kryteriów przez wykonawców mogą wykorzystywać pojęcia lingwistyczne. Sposób interpretacji zmiennych lingwistycznych, zaproponowany przez Singh i Tiong, został wykorzystany w modelu zaproponowanym w niniejszym opracowaniu.

2.6. Ogólna charakterystyka modelu

Celem zaproponowanego modelu jest ostateczny ranking wykonawców, ubiegających się o realizację konkretnego przedsięwzięcia, w ramach procedury prekwalfikacyjnej „per project”. W założonym schemacie, przyjmuje się, że o realizację przedsięwzięcia mogą ubiegać się jedynie wykonawcy zakwalifikowani do „stałej listy”. Jednak nie jest to etap konieczny. Model może także służyć do oceny wykonawców, jeśli nie była wcześniej przeprowadzana inna forma wstępnej selekcji. W tym wypadku, należy zazwyczaj uwzględnić większą ilość kryteriów ogólnych, nie związanych jedynie z przedsięwzięciem.

W prekwalfikacji „per project” nie tylko ocenia się, czy wykonawcy spełniają założone kryteria, ale także w jakim stopniu je spełniają. W przypadku znacznej ilości kandydatów, ogranicza się ich ilość do założonego progu, zazwyczaj nie więcej niż sześciu. Następuje więc wybór nie tylko kompetentnych wykonawców, ale także z tego grona - najlepszych. W modelu istnieje możliwość uwzględnienia ocen

wielu decydentów. W ocenie uwzględnia się różne cele stawiane sobie przez zamawiającego w przedsięwzięciu. Ogólnie w modelu uwzględniono następujące cele, do osiągnięcia których dąży zamawiający: czas, koszt, jakość. Zamawiający może wziąć pod uwagę także inne cele. Wykonawca oceniany jest według kryteriów określonych przez zamawiającego. Brane są pod uwagę zarówno stopień ważności kryteriów dla zamawiających, jak i stopień ich spełnienia przez wykonawców.

Zaletą modelu jest fakt, że wszystkie oceny zamawiający mogą przedstawić w formie wartości lingwistycznych. Wykorzystując założenia teorii zbiorów rozmytych, wartości lingwistyczne przekształcane są do formy rozmytej. Tworzone są relacje rozmyte, a następnie złożenia relacji rozmytych ustalających zależności pomiędzy celem a wykonawcą poprzez ich związek z kryterium. Stanowi to podstawę do określenia oceny wykonawcy. Ze specyfiki modelu wynika, że trudno jest o określenie oceny, która byłaby zadowolająca. Z tego powodu, ważne jest, aby wszyscy wykonawcy byli oceniani równocześnie. Zakwalifikowana powinna być wyznaczona przez zamawiającego liczba wykonawców, o najwyższej uzyskanej ocenie. Równoczesna ocena wszystkich kandydatów, ułatwia także zadanie decydentom, którzy mogą porównać cechy wykonawców.

W modelu zastosowano następujące oznaczenia:

- d_p - p-ty decydent,
- c_m - m-ty cel jakie stawia sobie zamawiający w danym przedsięwzięciu,
- k_n - n-te kryterium mające wpływ na decyzję o zakwalifikowaniu wykonawcy,
- C_a - waga celu a (stopień, w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu),
 $a = 1, 2, \dots, m$; m – liczba celów,
- C_{aj}^e - ocena celu a , przez decydenta j , dla wariantu e , $j = 1, 2, \dots, p$; p – liczba decydentów, $k = 1, 2, 3, 4$; k – liczba wariantów oceny,
- C_{aj} - macierz oceny celów,
- K_b - waga kryterium b ,
- K_{bj}^e - ocena kryterium b , przez decydenta j , dla wariantu e , $b = 1, 2, \dots, n$;
 n – liczba kryteriów,
- K_{bj} - macierz oceny kryteriów,
- W_{cb} - waga wykonawcy c , kryterium b (stopień spełnienia kryterium przez wykonawcę),
- W_{cjb}^e - ocena wykonawcy c , przez decydenta j , dla wariantu e , według kryterium b ,
 $c = 1, 2, \dots, t$; t – liczba wykonawców,
- W_{cjb} - macierz oceny wykonawców,
- I_{ab} - wpływ kryterium b , na cel a ,
 - O_i – ocena wykonawcy, $i = 1, 2, \dots, t$; t - liczba wykonawców.

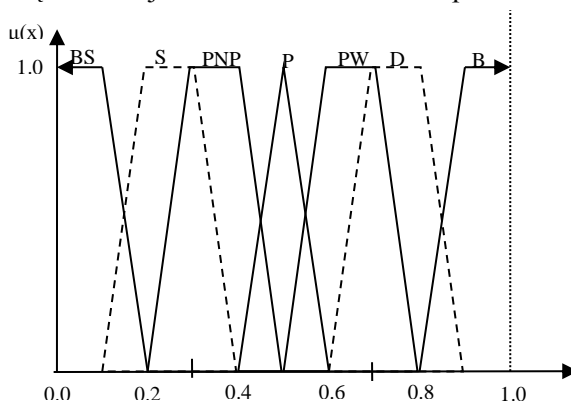
W modelu zastosowano algorytm przedstawiony w dalszej części.

- Decydent określa cele c_m jakie stawia sobie zamawiający w przedsięwzięciu.
- Wyznaczamy kryteria k_n wpływające na decyzję o zakwalifikowaniu wykonawcy.
- Decydenci d_p oceniają stopień w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu, stopień ważności kryteriów dla zamawiającego oraz stopień spełnienia kryteriów przez poszczególnych wykonawców.

- Do oceny decydenci wykorzystują wartości lingwistyczne:
 - wartości lingwistyczne - {Bardzo ważny, Ważny, Powyżej przeciętnej, Przeciętnie ważny, Poniżej przeciętnej, Mało ważny, Bardzo mało ważny}, odnoszą się do oceny dążenia do osiągnięcia danego celu;
 - wartości lingwistyczne - {Bardzo ważne, Ważne, Powyżej przeciętnej, Przeciętnie ważne, Poniżej przeciętnej, Mało ważne, Bardzo mało ważne}, odnoszą się do oceny stopnia ważności danego kryterium;
 - wartości lingwistyczne - {Bardzo dobry, Dobry, Powyżej przeciętnej, Przeciętny, Poniżej przeciętnej, Słaby, Bardzo słaby}, odnoszą się do oceny stopnia spełnienia kryterium przez wykonawcę.
- Wartości lingwistyczne przekształcane są do postaci rozmytej.

Funkcje przynależności poszczególnych zbiorów rozmytych, określających wartości lingwistyczne „bardzo słaby ... bardzo dobry” mają kształt trapezowy a dla wartości „przeciętny” trójkątny, o parametrach odpowiednio dobranych dla powyższych zbiorów, jak to pokazano na rys. 2.3. Jak widać na rysunku, dana wartość zmiennej x może należeć jednocześnie do kilku zbiorów rozmytych, z różnym stopniem przynależności.

Korzystając ze wzorów 2.2 i 2.3, każdą wartość lingwistyczną, możemy przedstawić za pomocą uporządkowanej czwórki liczb. Wartości podano w tabeli 2.3.



Rys. 2.3. Graficzna interpretacja rozmytej wartości lingwistycznych (Singh & Tiong, 2005).

Tabela 2.3. Interpretacja rozmytej wartości lingwistycznych (Singh & Tiong, 2005)

Wartości lingwistyczne	Ocena rozmyta (interpretacja)
BD/BW Bardzo dobry/Bardzo ważne	(0.8, 0.9, 1.0, 1.0)
D/W Dobry/Ważne	(0.6, 0.7, 0.8, 0.9)
PWP Powyżej przeciętnej	(0.5, 0.6, 0.7, 0.8)
P Przeciętny/Przeciętne	(0.4, 0.5, 0.5, 0.6)
PNP Poniżej przeciętnej	(0.2, 0.3, 0.4, 0.5)
S/MW Słaby/Mało ważne	(0.1, 0.2, 0.3, 0.4)
BS/BMW Bardzo słaby/Bardzo mało ważne	(0.0, 0.0, 0.1, 0.2)

- Dla każdego z celów, wyznaczamy wartość rozmytą stopnia, w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu.

C_{aj}^e - ocena celu a ($a=1,2,\dots,m$), przez decydenta j ($j=1,2,\dots,p$), dla wariantu e ($e=1,2,3,4$)

$$C_{aj}^e = \begin{bmatrix} (C_{11}^1, C_{11}^2, C_{11}^3, C_{11}^4) & (C_{12}^1, C_{12}^2, C_{12}^3, C_{12}^4) & \dots & (C_{1p}^1, C_{1p}^2, C_{1p}^3, C_{1p}^4) \\ (C_{21}^1, C_{21}^2, C_{21}^3, C_{21}^4) & (C_{22}^1, C_{22}^2, C_{22}^3, C_{22}^4) & \dots & (C_{2p}^1, C_{2p}^2, C_{2p}^3, C_{2p}^4) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (C_{m1}^1, C_{m1}^2, C_{m1}^3, C_{m1}^4) & (C_{m2}^1, C_{m2}^2, C_{m2}^3, C_{m2}^4) & \dots & (C_{mp}^1, C_{mp}^2, C_{mp}^3, C_{mp}^4) \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

Łączna ocena (średnia ocen wszystkich decydentów), według 2.9:

$$C_{aj}^e = \begin{bmatrix} (C_{11}^1 + C_{12}^1 + \dots + C_{1p}^1) / p & (C_{11}^2 + C_{12}^2 + \dots + C_{1p}^2) / p & (C_{11}^3 + C_{12}^3 + \dots + C_{1p}^3) / p & (C_{11}^4 + C_{12}^4 + \dots + C_{1p}^4) / p \\ (C_{21}^1 + C_{22}^1 + \dots + C_{2p}^1) / p & (C_{21}^2 + C_{22}^2 + \dots + C_{2p}^2) / p & (C_{21}^3 + C_{22}^3 + \dots + C_{2p}^3) / p & (C_{21}^4 + C_{22}^4 + \dots + C_{2p}^4) / p \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ (C_{m1}^1 + C_{m2}^1 + \dots + C_{mp}^1) / p & (C_{m1}^2 + C_{m2}^2 + \dots + C_{mp}^2) / p & (C_{m1}^3 + C_{m2}^3 + \dots + C_{mp}^3) / p & (C_{m1}^4 + C_{m2}^4 + \dots + C_{mp}^4) / p \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Wprowadzając oznaczenia:

$$\begin{aligned} (C_{11}^1 + C_{12}^1 + \dots + C_{1p}^1) / p &= C_{11} \\ (C_{11}^2 + C_{12}^2 + \dots + C_{1p}^2) / p &= C_{12} \\ (C_{11}^3 + C_{12}^3 + \dots + C_{1p}^3) / p &= C_{13} \\ (C_{11}^4 + C_{12}^4 + \dots + C_{1p}^4) / p &= C_{14} \\ (C_{21}^1 + C_{22}^1 + \dots + C_{2p}^1) / p &= C_{21} \\ (C_{21}^2 + C_{22}^2 + \dots + C_{2p}^2) / p &= C_{22} \\ &\dots \\ (C_{m1}^3 + C_{m2}^3 + \dots + C_{mp}^3) / p &= C_{m3} \\ (C_{m1}^4 + C_{m2}^4 + \dots + C_{mp}^4) / p &= C_{m4} \end{aligned}$$

Macierz oceny celów ma postać:

$$C_{aj} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & C_{m3} & C_{m4} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

▪ Ustalana jest wartość wyostrzenia (średni stopień, w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu), według 2.11:

$$C_a = (C_{a1} + C_{a2} + C_{a3} + C_{a4}) / 4 \quad (2.18)$$

Następnie, podobnie jak w przypadku oceny celów, ustalamy ocenę ważności kryteriów, jak i stopnia spełnienia kryteriów przez wykonawców.

▪ Dla każdego z kryteriów, wyznaczamy wartość rozmyta stopnia ważności kryterium.

K_{bj}^e - ocena kryterium b ($b=1,2,\dots,n$), przez decydenta j ($j=1,2,\dots,p$), dla wariantu e

Macierz oceny kryteriów : K_{bj}

▪ Ustalamy wartość wyostrzenia (średni stopień ważności danego kryterium) : K_b

▪ Dla każdego z wykonawców, wyznaczana jest wartość rozmyta stopnia spełnienia kryteriów.

W_{cjb}^e - ocena wykonawcy c ($c=1,2,\dots,t$), przez decydenta j ($j=1,2,\dots,p$), dla wariantu e

Macierz oceny wykonawców: W_{cjb}

- Ustalamy wartość wyostrzenia (średni stopień spełnienia kryterium przez wykonawcę): W_{cb}
- Obliczamy elementy relacji $R(c,k)$, ustalającej związek pomiędzy celem a kryterium:

$$R(c_a, k_b) = C_a \times K_b \times I_{ab} \quad (2.19)$$

- Wyznaczamy elementy $R(k,w)$, gdzie $R(k,w)$ jest relacją rozmytą określającą średni stopień spełnienia kryterium przez wykonawcę.
- Wyznaczamy elementy $Q(c,w)$, które są złożeniem dwóch relacji rozmytych $R(c,k)$ i $R(k,w)$ i określają zależność pomiędzy celem c i wykonawcą w , poprzez ich związek z kryterium k .

Złożenia relacji wyznaczamy zgodnie z zasadą maximum-minimum (max-min) i cumulative-minimum (cum-min).

- Określamy złożenie relacji max-min dla danych c_a i w_c :

$$Q_1(c, w) = S \circ R(c_a, w_c) = \max \min [R(c_a, k_b), R(k_b, w_c)] \forall k_b \quad (2.20)$$

Oceny wykonawcy dokonuje się zgodnie ze wzorem:

$$O_i = \left[\sum Q(c_a, w_c) \right] / \sum c_a \quad \text{dla } a = 1, 2, \dots, m \quad (2.21)$$

- Określa się złożenie relacji cum-min dla danych c_a i w_c :

$$Q_2(c, w) = S \circ R(c_a, w_c) = \text{sum} \min [R(c_a, k_b), R(k_b, w_c)] \forall k_b \quad (2.22)$$

Ocena wykonawcy jest uzyskiwana zgodnie ze wzorem 2.21.

2.7. Przykład ilustrujący działanie modelu

Dla zobrazowania działania modelu zostanie przedstawiony prosty przykład obliczeniowy (Plebankiewicz, 2011). Dla przejrzystości przeprowadzonych operacji w przykładzie zostanie zastosowana ograniczona ilość elementów.

Zamawiający chce ustalić listę wykonawców zdolnych do wykonania przedsięwzięcia, polegającego na realizacji inwestycji „Sala sportowo-widowiskowa z częścią dydaktyczną” zlokalizowanej w Krakowie.

W tym celu chce dokonać oceny pięciu wykonawców (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5). Kwalifikacji dokonuje zespół trzech decydentów – przedstawicieli zamawiającego. Cele, jakie stawia sobie zamawiający w danym przedsięwzięciu to: termin (c_1), koszt (c_2) i jakość (c_3). Kryteria brane pod uwagę: doświadczenie (k_1), sytuacja finansowa (k_2) i środki - personel (k_3).

W celu oceny spełnienia kryteriów, wykonawcy byli proszeni o wypełnienie kwestionariuszy, zawierających szereg danych, dotyczących ich sytuacji. Decydenci przy ocenie kierowali się także własnym doświadczeniem, wiedzą na temat wykonawców pochodzącą od innych zamawiających i reputacją wykonawców na rynku.

W tabeli 2.4 podano skrót informacji zebranych z kwestionariuszy wypełnianych przez wykonawców, pozwalających na ocenę stopnia spełnienia kryteriów, branych pod uwagę przez zamawiającego.

Tabela 2.4. Przykład ilustrujący działanie modelu - dane pięciu wykonawców do realizacji obiektu w Krakowie

Kryterium (cechy wykonawcy)	Wykonawca 1	Wykonawca 2	Wykonawca 3	Wykonawca 4	Wykonawca 5
Doświadczenie					
Oprócz ogólnych informacji, wszyscy wykonawcy podali dokładne dane dotyczące zrealizowanych inwestycji podobnych do przedmiotu zamówienia (dane zleceniodawcy, charakter prac, rola w umowie (wykonawca, podwykonawca, partner w konsorcjum), wartość umowy, data podpisania umowy i data zakończenia prac, czas trwania umowy, procentowy udział przedsiębiorstwa w przedsięwzięciu). Wszystkie wymienione kontrakty zostały terminowo i zadowalająco zakończone. W przypadku prac w toku, wykonawcy podali także szczegółowe informacje (nazwa kontraktu, wartość pozostałych prac, przewidywany termin zakończenia)					
Liczba lat doświadczenia jako generalny wykonawca: - we własnym kraju - na rynku międzynarodowym	15 lat 10 lat	8 lat 8 lat	10 lat brak doświadc.	10 lat brak doświadc.	20 lat 5 lat
Liczba lat doświadczeń jako podwykonawca: - we własnym kraju - na rynku międzynarodowym	20 lat 5 lat	8 lat 8 lat	10 lat 2 lata	15 lat brak doświadc.	20 lat 5 lat
Dane dotyczące umów o podobnym charakterze	3 podobne przedsięwzięcia	2 podobne przedsięwzięcia	1 podobne przedsięwzięcie	1 podobne przedsięwzięcie	2 podobne przedsięwzięcia
Inne osiągnięcia		Doświadczenie w realizacji kontraktów wg FIDIC			Doświadczenie w realizacji kontraktów wg FIDIC
Bieżące zobowiązania kontraktowe (prace w toku)	6 rozpoczętych inwestycji o łącznej wartości pozostałych prac 101 760 880 zł	7 rozpoczętych inwestycji o łącznej wartości pozostałych prac 70 439 870 zł	3 rozpoczęte inwestycje o łącznej wartości pozostałych prac 26 500 721 zł	3 rozpoczęte inwestycje o łącznej wartości pozostałych prac 92 660 232 zł	4 rozpoczęte inwestycje o łącznej wartości pozostałych prac 120 724 110 zł

Tabela 2.4. Cd.

Kryterium (cechy wyk.)	Wykonawca 1	Wykonawca 2	Wykonawca 3	Wykonawca 4	Wykonawca 5
Sytuacja finansowa					
Oprócz podanych informacji, wykonawcy przedstawili także sprawozdanie finansowe za okres ostatnich 3 lat, podali dane banków (nazwa, adres), od których mogą być uzyskane referencje. Wykonawcy przedstawili także proponowane źródła finansowania inwestycji (wraz z udokumentowaną wysokością posiadanych środków finansowych lub zdolności kredytowej).					
Obrót roczny (sprzedaż robót budowlano-montażowych) [tys. zł]	56 568 (2006 rok) 60 450 (2007 rok) 71 450 (2008 rok)	80 679 (2006 rok) 78 985 (2007 rok) 79 650 (2008 rok)	30 875 (2006 rok) 21 908 (2007 rok) 18 896 (2008 rok)	120 670 (2006 rok) 160 230 (2007 rok) 230 670 (2008 rok)	67 900 (2006 rok) 45 780 (2007 rok) 35 786 (2008 rok)
Aktywa całkowite [tys. zł]	36 895 (2006 rok) 42 845 (2007 rok) 44 878 (2008 rok)	63 896 (2006 rok) 65 894 (2007 rok) 60 789 (2008 rok)	22 908 (2006 rok) 18 908 (2007 rok) 17 986 (2008 rok)	87 420 (2006 rok) 99 800 (2007 rok) 117 896 (2008 rok)	48 500(2006 rok) 39 670(2007 rok) 37 600(2008 rok)
Aktywa bieżące [tys. zł]	29 874 (2006 rok) 38 495 (2007 rok) 40 456 (2008 rok)	47 986 (2006 rok) 46 895 (2007 rok) 45 894 (2008 rok)	21 896 (2006 rok) 17 987 (2007 rok) 16 894 (2008 rok)	60 430 (2006 rok) 62 780 (2007 rok) 94 000 (2008 rok)	46 230 (2006 rok) 39 670 (2007 rok) 37 650 (2008 rok)
Zobowiązania bieżące [tys. zł]	23 895 (2006 rok) 30 540 (2007 rok) 38 450 (2008 rok)	38 895 (2006 rok) 39 450 (2007 rok) 40 850 (2008 rok)	18 987 (2006 rok) 16 674 (2007 rok) 13 895 (2008 rok)	40 230 (2006 rok) 23 678 (2007 rok) 31 784 (2008 rok)	41 987 (2006 rok) 36 520 (2007 rok) 30 870 (2008 rok)
Zysk przed opodatkowaniem [tys. zł]	3 256 (2006 rok) 6 240 (2007 rok) 7 984 (2008 rok)	1 976 (2006 rok) 1 589 (2007 rok) 1 289 (2008 rok)	1 967 (2006 rok) - 1 096 (2007 rok) - 159 (2008 rok)	8 670 (2006 rok) 10 240 (2007 rok) 15 890 (2008 rok)	4 320 (2006 rok) 890 (2007 rok) - 540 (2008 rok)
Kapitał własny [tys. zł]	10 000 (2006 rok) 13 000 (2007 rok) 18 000 (2008 rok)	16 000 (2006 rok) 18 000 (2007 rok) 19 000 (2008 rok)	3 000 (2006 rok) 2 200 (2007 rok) 2 100 (2008 rok)	40 000 (2006 rok) 48 000 (2007 rok) 58 000 (2008 rok)	6 590 (2006 rok) 4 502 (2007 rok) 4 180 (2008 rok)
Środki – personel					
Oprócz podanych informacji, wykonawcy przedstawili także dane dotyczące doświadczenia zawodowego czołowego personelu oraz kandydatów, proponowanych do obsady kluczowych stanowisk do realizacji inwestycji.					
Personel kierowniczy: - technicznego - administracyjnego	8 osób 3 osoby	12 osób 4 osoby	6 osób 3 osoby	18 osób 5 osób	9 osób 3 osoby

W pierwszym etapie, decydenci dokonują oceny stopnia, w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu w postaci zmiennych lingwistycznych (tabela 2.5)

Tabela 2.5. Ocena celów (zmiennie lingwistyczne)

Cel	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
termin (c_1)	ważny	ważny	przeciętnie ważny
koszt (c_2)	ważny	przeciętnie ważny	ważny
jakość (c_3)	bardzo ważny	bardzo ważny	bardzo ważny

Zmienne lingwistyczne przekształcane są do postaci rozmytej – tabela 2.6.

Tabela 2.6. Ocena celów (interpretacja rozmyta)

cel	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
termin (c_1)	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,4; 0,5; 0,5; 0,6
koszt (c_2)	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,4; 0,5; 0,5; 0,6	0,6; 0,7; 0,8; 0,9
jakość (c_3)	0,8; 0,9; 1,0; 1,0	0,8; 0,9; 1,0; 1,0	0,8; 0,9; 1,0; 1,0

Dla każdego z celów, wyznaczana jest wartość rozmyta stopnia, w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu:

$$C_{aj}^e = \begin{bmatrix} (0,6; 0,7; 0,8; 0,9) & (0,6; 0,7; 0,8; 0,9) & (0,4; 0,5; 0,5; 0,6) \\ (0,6; 0,7; 0,8; 0,9) & (0,4; 0,5; 0,5; 0,6) & (0,6; 0,7; 0,8; 0,9) \\ (0,8; 0,9; 1,0; 1,0) & (0,8; 0,9; 1,0; 1,0) & (0,8; 0,9; 1,0; 1,0) \end{bmatrix}$$

Łączna ocena (średnia ocen wszystkich decydentów):

$$C_{aj}^e = \begin{bmatrix} (0,6+0,6+0,4)/3 & (0,7+0,7+0,5)/3 & (0,8+0,8+0,5)/3 & (0,9+0,9+0,6)/3 \\ (0,6+0,4+0,6)/3 & (0,7+0,5+0,7)/3 & (0,8+0,5+0,8)/3 & (0,9+0,6+0,9)/3 \\ (0,8+0,8+0,8)/3 & (0,9+0,9+0,9)/3 & (1,0+1,0+1,0)/3 & (1,0+1,0+1,0)/3 \end{bmatrix}$$

Macierz oceny celów ma postać:

$$C_{aj} = \begin{bmatrix} 0,533 & 0,633 & 0,700 & 0,800 \\ 0,533 & 0,633 & 0,700 & 0,800 \\ 0,800 & 0,900 & 1,000 & 1,000 \end{bmatrix}$$

Ustalana jest wartość wyostrzenia (średni stopień w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu):

$$C_1 = (0,533 + 0,633 + 0,700 + 0,800)/4 = 0,667$$

$$C_2 = 0,667$$

$$C_3 = 0,925$$

Decydenci dokonują oceny stopnia ważności kryteriów w postaci zmiennych lingwistycznych (tabela 2.7).

Tabela 2.7. Ocena stopnia ważności kryterium (zmiennie lingwistyczne)

kryterium	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
doświadczenie (k_1)	bardzo ważne	bardzo ważne	bardzo ważne
sytuacja finansowa (k_2)	ważne	bardzo ważne	Ważne
środki – personel (k_3)	mało ważne	przeciętnie ważne	przeciętnie ważne

Zmienne lingwistyczne przekształcane są do postaci rozmytej – tabela 2.8.

Tabela 2.8. Ocena stopnia ważności kryterium (interpretacja rozmyta)

kryterium	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
doświadczenie (k_1)	0,8; 0,9; 1,0; 1,0	0,8; 0,9; 1,0; 1,0	0,8; 0,9; 1,0; 1,0
sytuacja finansowa (k_2)	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,8; 0,9; 1,0; 1,0	0,6; 0,7; 0,8; 0,9
środki – personel (k_3)	0,1; 0,2; 0,3; 0,4	0,4; 0,5; 0,5; 0,6	0,4; 0,5; 0,5; 0,6

Dla każdego z kryteriów, wyznaczana jest wartość rozmyta stopnia ważności kryterium:

$$K_{bj} = \begin{bmatrix} 0,800 & 0,900 & 1,000 & 1,000 \\ 0,667 & 0,767 & 0,867 & 0,933 \\ 0,300 & 0,400 & 0,433 & 0,533 \end{bmatrix}$$

Ustalana jest wartość wyostżenia (średni stopień ważności kryterium):

$$K_1=0,925$$

$$K_2=0,808$$

$$K_3=0,417$$

Decydenci dokonują oceny stopnia spełnienia kryteriów przez wykonawców.

Dla kryterium doświadczenie (k_1)

Decydenci dokonują oceny stopnia spełnienia kryterium przez wykonawców w postaci zmiennych lingwistycznych (tabela 2.9).

Tabela 2.9. Ocena stopnia spełnienia kryterium k_1 , przez wykonawców (zm. lingwistyczne)

wykonawca	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
w_1	dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
w_2	dobry	dobry	dobry
w_3	przeciętny	powyżej przeciętnej	dobry
w_4	przeciętny	dobry	dobry
w_5	bardzo dobry	dobry	bardzo dobry

Zmienne lingwistyczne przekształcane są do postaci rozmytej – tabela 2.10

Tabela 2.10. Ocena stopnia spełnienia kryterium k_1 , przez wykonawców (interpr. rozmyta)

wykonawca	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
w_1	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,8; 0,9; 1,0; 1,0	0,8; 0,9; 1,0; 1,0
w_2	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,6; 0,7; 0,8; 0,9
w_3	0,4; 0,5; 0,5; 0,6	0,5; 0,6; 0,7; 0,8	0,6; 0,7; 0,8; 0,9
w_4	0,4; 0,5; 0,5; 0,6	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,6; 0,7; 0,8; 0,9
w_5	0,8; 0,9; 1,0; 1,0	0,6; 0,7; 0,8; 0,9	0,8; 0,9; 1,0; 1,0

Dla każdego z wykonawców, wyznaczana jest wartość rozmyta stopnia spełnienia kryterium:

$$W_{cj1} = \begin{bmatrix} 0,733 & 0,833 & 0,933 & 0,967 \\ 0,600 & 0,700 & 0,800 & 0,900 \\ 0,500 & 0,600 & 0,667 & 0,767 \\ 0,533 & 0,633 & 0,700 & 0,800 \\ 0,733 & 0,833 & 0,933 & 0,967 \end{bmatrix}$$

Ustalana jest wartość wyostrzenia (średni stopień spełnienia kryterium):

$$W_{11}=0,867$$

$$W_{21}=0,750$$

$$W_{31}=0,633$$

$$W_{41}=0,667$$

$$W_{51}=0,867$$

Dla kryterium sytuacja finansowa (k_2)

Decydenci dokonują oceny stopnia spełnienia kryterium przez wykonawców w postaci zmiennych lingwistycznych (tabela 2.11)

Tabela 2.11. Ocena stopnia spełnienia kryterium k_2 , przez wykonawców (zm. lingwist.)

wykonawca	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
w_1	dobra	Dobra	Dobra
w_2	przeciętna	dobra	przeciętna
w_3	słaba	poniżej przeciętnej	Słaba
w_4	bardzo dobra	dobra	bardzo dobra
w_5	słaba	słaba	Słaba

Zmienne lingwistyczne przekształcane są do postaci rozmytej. Dla każdego z wykonawców, wyznaczana jest wartość rozmyta stopnia spełnienia kryteriów. Ustalana jest wartość wyostrzenia (średni stopień spełnienia kryterium):

$$W_{12}=0,750$$

$$W_{22}=0,583$$

$$W_{32}=0,383$$

$$W_{42}=0,867$$

$$W_{52}=0,250$$

Dla kryterium środki – personel (k_3)

Decydenci dokonują oceny stopnia spełnienia kryterium przez wykonawców w postaci zmiennych lingwistycznych (tabela 2.12)

Tabela 2.12. Ocena stopnia spełnienia kryterium k_3 , przez wykonawców (zm. lingwistyczne)

wykonawca	ocena przez d_1	ocena przez d_2	ocena przez d_3
w_1	dobry	Dobry	dobry
w_2	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
w_3	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
w_4	bardzo dobry	bardzo dobry	bardzo dobry
w_5	dobry	bardzo dobry	dobry

Zmienne lingwistyczne przekształcamy do postaci rozmytej. Dla każdego z wykonawców, wyznaczana jest wartość rozmyta stopnia spełnienia kryteriów. Ustalana jest wartość wyostrzenia (średni stopień spełnienia kryterium):

$$W_{13}=0,750$$

$$W_{23}=0,925$$

$$W_{33}=0,925$$

$$W_{43}=0,925$$

$$W_{53}=0,808$$

Do dalszych obliczeń niezbędne jest ustalenie wpływu kryteriów na osiągnięcie poszczególnych celów (współczynniki I_{ab}). Dla uproszczenia, współczynniki te zostały zaproponowane przez autorkę po konsultacjach z osobami uczestniczącymi w przetargach i przedstawione w tabeli 2.13. Przykładowo współczynnik $I_{11}=0,8$ ozna-

cza, że kryterium „doświadczenie” w 80-ciu procentach wpływa na cel „termin”. Współczynniki te mogą być zmienione przez decydentów.

Tabela 2.13. Wpływ kryterium na osiągnięcie celu

TERMIN -1	
Termin – 1; Doświadczenie - 1	$I_{11} = 0,8$
Termin – 1; Sytuacja finansowa - 2	$I_{12} = 1,0$
Termin – 1; Środki – personel - 3	$I_{13} = 1,0$
Termin – 1; Środki – sprzęt - 4	$I_{14} = 0,8$
Termin – 1; Zdolności organizacyjne - 5	$I_{15} = 0,8$
Termin – 1; Przestrzeganie zasad BHP - 6	$I_{16} = 0,5$
Termin – 1; Reputacja - 7	$I_{17} = 1,0$
KOSZT -2	
Koszt – 2; Doświadczenie - 1	$I_{21} = 1,0$
Koszt – 2; Sytuacja finansowa - 2	$I_{22} = 1,0$
Koszt – 2; Środki – personel - 3	$I_{23} = 0,8$
Koszt – 2; Środki – sprzęt - 4	$I_{24} = 0,5$
Koszt – 2; Zdolności organizacyjne - 5	$I_{25} = 0,8$
Koszt – 2; Przestrzeganie zasad BHP - 6	$I_{26} = 0,5$
Koszt – 2; Reputacja - 7	$I_{27} = 0,8$
JAKOŚĆ - 3	
Jakość – 3; Doświadczenie - 1	$I_{31} = 0,8$
Jakość – 3; Sytuacja finansowa - 2	$I_{32} = 1,0$
Jakość – 3; Środki – personel - 3	$I_{33} = 1,0$
Jakość – 3; Środki – sprzęt - 4	$I_{34} = 0,5$
Jakość – 3; Zdolności organizacyjne - 5	$I_{35} = 1,0$
Jakość – 3; Przestrzeganie zasad BHP - 6	$I_{36} = 0,5$
Jakość – 3; Reputacja - 7	$I_{37} = 1,0$

Obliczamy elementy relacji $R(c,k)$. Współczynniki I_{ab} (wpływ kryterium na osiągnięcie celu) przyjmujemy zgodnie z tabelą 2.13.

Przykładowo dla $R(c_1, k_1)$:

$$R(c_1, k_1) = C_1 \times K_1 \times I_{11} = 0,667 \times 0,925 \times 0,8 = 0,493$$

Pozostałe wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.14.

Tabela 2.14. Elementy relacji $R(c,k)$

relacja $R(c,k)$	k_1	k_2	k_3
c_1	0,493	0,539	0,278
c_2	0,617	0,539	0,222
c_3	0,685	0,748	0,385

Wyznaczamy elementy $R(k,w)$, gdzie $R(k,w)$ jest relacją rozmytą określającą średni stopień spełnienia kryterium przez wykonawcę (tabela 2.15).

Tabela 2.15. Elementy relacji $R(k,w)$

relacja $R(k,w)$	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
k_1	0,867	0,750	0,633	0,667	0,867
k_2	0,750	0,583	0,383	0,867	0,250
k_3	0,750	0,925	0,925	0,925	0,808

Wyznaczamy elementy $Q(c,w)$, które są złożeniem dwóch relacji rozmytych $R(c,k)$ i $R(k,w)$ i określają zależność pomiędzy celem c i wykonawcą w , poprzez ich związek z kryterium k .

Złożenia relacji wyznaczamy zgodnie z zasadą max-min i sum-min.

- Złożenie relacji max-min dla danych c_a i w_c określamy według wzoru 2.19. Wykonując obliczenia w pierwszym etapie wybieramy wartości minimalne a w następnym, z uzyskanych w poprzednim etapie, maksymalne.

Przykładowo dla w_1 obliczenia wyglądają następująco:

$$Q(c_1, w_1) = \max \min [(R(c_1, k_1); R(k_1, w_1)), (R(c_1, k_2); R(k_2, w_1)), (R(c_1, k_3); R(k_3, w_1))] = \max \min [(0,493; 0,867), (0,539; 0,750), (0,278; 0,750)] = \max [0,493; 0,539; 0,278] = 0,539$$

$$Q(c_2, w_1) = 0,617$$

$$Q(c_3, w_1) = 0,748$$

Na podstawie wzoru 2.20 wyznaczamy ocenę dla wykonawcy w_1 :

$$O_1 = [Q(c_1, w_1) + Q(c_2, w_1) + Q(c_3, w_1)] / [C_1 + C_2 + C_3] = (0,539 + 0,617 + 0,748) / 2,26 = 0,843$$

Pozostałe wyniki obliczeń w tabeli 2.16.

Tabela 2.16. Ocena wykonawców według zasady max-min

złożenie relacji $Q(c, w)$	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
c_1	0,539	0,539	0,493	0,539	0,493
c_2	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617
c_3	0,748	0,684	0,633	0,748	0,684
O_i	0,843	0,815	0,772	0,843	0,794

- Złożenie relacji sum-min dla danych c_j i w_p określamy według wzoru 2.21. Wykonując obliczenia w pierwszym etapie wybieramy wartości minimalne a w następnym, sumujemy wartości uzyskane w poprzednim etapie.

Przykładowo dla w_1 obliczenia wyglądają następująco:

$$Q(c_1, w_1) = \text{sum} \min [(R(c_1, k_1); R(k_1, w_1)), (R(c_1, k_2); R(k_2, w_1)), (R(c_1, k_3); R(k_3, w_1))] = \text{sum} \min [(0,493; 0,867), (0,539; 0,750), (0,278; 0,750)] = \text{sum} [0,493; 0,539; 0,278] = 1,310$$

$$Q(c_2, w_1) = 1,378$$

$$Q(c_3, w_1) = 1,817$$

Na podstawie wzoru 2.20 wyznaczamy ocenę dla wykonawcy w_1 :

$$O_1 = (1,310 + 1,378 + 1,817) / 2,26 = 1,993$$

Pozostałe wyniki obliczeń w tabeli 2.17.

Tabela 2.17. Ocena wykonawców według zasady sum-min

złożenie relacji $Q(c, w)$	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5
c_1	1,310	1,310	1,054	1,310	1,021
c_2	1,378	1,378	1,122	1,378	1,089
c_3	1,817	1,652	1,301	1,800	1,319
O_i	1,993	1,920	1,539	1,986	1,517

Ranking wykonawców w metodzie max-min:

w_1 i w_4 , w_2 , w_5 , w_3 .

Ranking wykonawców w metodzie sum-min:

w_1 , w_4 , w_2 , w_3 , w_5 .

Wyniki uzyskiwane w obydwu metodach są w dużej mierze zgodne. Najlepiej ocenieni zostali wykonawcy w_1 i w_4 . W metodzie sum-min wykonawca w_4 , uzyskał nieco lepszy wynik. Pewna niezgodność istnieje co do ocen wykonawców w_5 i w_3 , jednak różnice te są niewielkie.

W dalszej części przeprowadzona zostanie analiza wrażliwości modelu, która wskaże m. in., która metoda powinna być brana pod uwagę w pierwszej kolejności, w przypadku różnic w uzyskanych ocenach.

2.8. Analiza wrażliwości modelu

Aby zbadać wpływ poszczególnych danych wejściowych na wyniki operacji dokonywanych na modelu, przeprowadzono analizę wrażliwości. Polegała ona na zmianie jednej z danych wejściowych przy założeniu, że pozostałe dane są stałe, i śledzeniu wpływu tych zmian na wyniki końcowe. Miarą wrażliwości modelu jest zmienność wyników końcowych w odpowiedzi na zmianę poszczególnych parametrów danych wejściowych.

W przeprowadzonej analizie zbadano wpływ zmienności następujących parametrów na ocenę wykonawcy:

- stopień, w jakim zamawiający dąży do osiągnięcia danego celu,
- liczba celów,
- stopień ważności kryterium,
- stopień spełnienia kryterium przez wykonawcę,
- liczba kryteriów,
- stopień, w jakim kryterium wpływa na cel.

Przeprowadzone analizy miały na celu wyznaczenie pewnych ogólnych tendencji zachowania się modelu. Na podstawie przeprowadzonych analiz można wyciągnąć pewne ogólne wnioski odnośnie wpływu danych wejściowych na końcowe wyniki:

1. Największy wpływ na końcowe wyniki ma stopień ważności kryterium dla zamawiającego. Nieco mniejszy wpływ ma stopień spełnienia kryterium przez wykonawcę. Stopień ważności celów i wartość współczynnika I_{ab} w niewielkim stopniu wpływają na wyniki końcowe.
2. Większy wpływ danych wejściowych na końcowe wyniki występuje w metodzie sum-min niż w metodzie max-min. Stąd w przypadkach wątpliwych lub uzyskania różnych wyników w obydwu metodach, zaleca się przyjęcie w pierwszej kolejności wyników zalecanych w metodzie sum-min.
3. Wprowadzanie kolejnych celów lub kryteriów oceny w nieznacznym stopniu wpływa na końcowe wyniki (w nieco większym przy wprowadzaniu kolejnych kryteriów).

Zamawiający, korzystając z modelu, powinni szczególną uwagę zwrócić na wagę przypisaną do kryteriów oceny wykonawców, gdyż to ona będzie miała największy wpływ na uzyskane wyniki. W przypadku różnic w rankingach, uzyskanych w obydwu metodach, decydująca powinna być ocena uzyskana w metodzie sum – min.

2.9. Program „Prekwalifikacja”

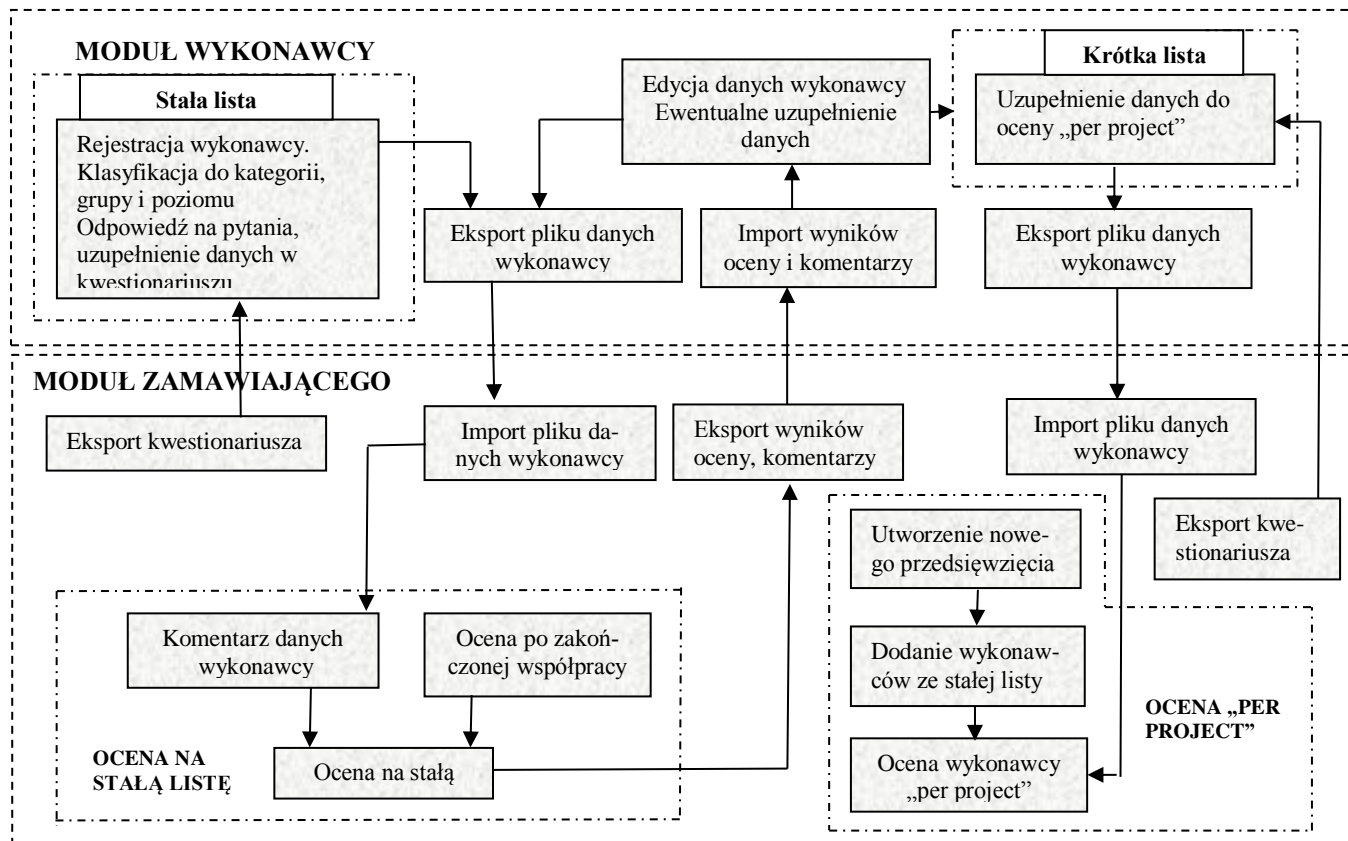
Jako pomoc w zastosowaniu procedury i modelu prekwalifikacji autorka opracowała program pod roboczą nazwą „Prekwalifikacja”. Pracuje on w najbardziej popularnych w Polsce systemach operacyjnych Microsoft Windows XP oraz Vista.

Program jest przeznaczony dla konkretnego zamawiającego, ale po modyfikacjach, zwłaszcza w części dotyczącej prekwalifikacji na „stałą listę”, może on być stosowany przez dowolnego zamawiającego. Celem programu jest ułatwienie zamawiającemu oceny wykonawców na „stałą listę”, a następnie wybór z ich grona wykonawców do konkretnego przedsięwzięcia.

Program jest podzielony na dwie zasadnicze części – moduł wykonawcy i moduł zamawiającego. W module wykonawcy, kandydat na „stałą” a następnie „krótką” listę, podaje dane wymagane przez zamawiającego. Ustala je zamawiający i przekazuje wykonawcy w postaci formularza do wypełnienia.

Dużo bardziej rozbudowany jest moduł zamawiającego. Składa się on z trzech zasadniczych części – pierwsza pozwala na ocenę wykonawcy na „stałą listę”, następna na przygotowanie danych dotyczących realizowanych przedsięwzięć, kolejna pozwala ocenić wykonawców „per project”. Dodatkowo w programie zapewniona jest niezbędna łączność pomiędzy zamawiającym a wykonawcami – przekazywanie danych, zapytania i uzupełnianie informacji.

Na rys. 2.3 zaprezentowano schemat programu.



Rys.2.3. Schemat programu „Prekwalifikacja”

2.10. Podsumowanie

Zamawiający planując realizację inwestycji budowlanej, musi podjąć szereg decyzji, mających wpływ na jej przebieg. Jedną z nich, jest wybór wykonawcy robót budowlanych.

Jedną z metod oceny kompetencji wykonawców ubiegających się o realizację zamówienia, jest ich wstępna selekcja. Prawo zamówień publicznych nie przewiduje procedury prekwalfikacji, rozumianej jako przed - przetargowa selekcja oferentów. Kompetencje wykonawcy sprawdzane są zazwyczaj dopiero we wstępnym etapie procedury przetargowej czy negocjacyjnej, co nie zawsze jest korzystne. Z przeprowadzonych badań wynika, że zamawiający prywatni, preferują w kolejnych zamówieniach wykonawców, z którymi współpraca w przeszłości przebiegała pomyślnie. Mimo to, tylko niewielka część zamawiających posiada wypracowaną procedurę ich selekcji.

Prekwalfikacja jest procedurą pozwalającą na wyselekcjonowanie kompetentnych wykonawców do wykonania określonych przedsięwzięć. Pozwala ona także na oszczędność czasu i kosztów związanych z przygotowaniem i oceną ofert sporządzonych przez wykonawców uznanych przez zamawiających za nieodpowiednich. Prekwalfikacja jest, więc procedurą korzystną zarówno dla wykonawcy jak i zamawiającego.

Biorąc pod uwagę wzorce państw, w których prekwalfikacja jest standartową procedurą, w pracy zaprezentowano schemat wstępnej selekcji wykonawców, proponowany polskim zamawiającym. Zasadnicze elementy tej procedury to selekcja na „stałą listę”, pozwalająca na selekcję kompetentnych wykonawców oraz prekwalfikacja „per project”, umożliwiająca wybór kandydatów najodpowiedniejszych do realizacji konkretnego przedsięwzięcia. Przedstawiono przykład procedury oceny wykonawcy na „stałą listę”.

Prekwalfikację „per project” wspomagają różnego typu modele matematyczne. Budowa modelu ujmującego wszystkie uwarunkowania procesu prekwalfikacji nie jest zadaniem łatwym. W ocenie wykonawców brana jest pod uwagę duża ilość kryteriów, które z kolei są charakteryzowane przez odpowiednie podkryteria. Dla wielu z nich ocena jest subiektywna i jej miara trudna w jednoznacznym ustaleniu, np. ważna w ocenie „reputacja wykonawcy”. Nie jest łatwym zadaniem także uzgodnienie jednej wspólnej skali ocen dla wszystkich kryteriów. Dodatkowy problem stanowi konieczność uwzględnienia w modelu ocen wielu decydentów. W celu ułatwienia pokonania związanych z tym trudności i zobiektywizowania procedury wyboru odpowiedniego wykonawcy w pracy zaproponowano model matematyczny zbudowany w oparciu o teorię zbiorów rozmytych.

Przybliżenie problemów prekwalfikacji, może uświadomić zamawiającym wagę właściwej selekcji wykonawców. Opracowana procedura i model matematyczny mogą pomóc zamawiającym we właściwym opracowaniu własnej, dla nich najkorzystniejszej metody wstępnej selekcji wykonawców, a także wskazać możliwość bardziej efektywnego wykorzystania informacji posiadanych na temat wykonawców. Zawarte w opracowaniu informacje, można więc traktować jako materiał wyjściowy w budowie własnej procedury prekwalfikacji przez zamawiających roboty budowlane.

Summary

The choice of a contractor for a construction venture is one of the most important decisions taken at the stage of planning a construction. The selection of contractors usually ensues a call for tenders, where the bidders' qualifications are checked as late as at the preliminary stage of the procedure, which is not always advantageous. Meanwhile, there is an increase in the number of procedures in which the ultimate criterion for the selection of an offer is exclusively the price. These factors make it clear how essential an appropriate evaluation of the contractor's capacity to fulfill the tasks assigned is. One of the ways of evaluating the qualifications of the contractors' proposing to accomplish an order is a prequalification selection.

A schema of a preliminary selection of contractors proposed for Polish clients is presented. The basic elements of this procedure include the selection on a "standing list" which allows to select competent contractors, and a "per project" prequalification which ensures the selection of the most appropriate candidates for the completion of a particular venture. An example procedure of an evaluation of a contractor on a "standing list" is provided.

The "per project" prequalification is aided by a number of various mathematical models. In the study the idea of selected contractors' prequalification models are presented. A mathematical model based on the fuzzy sets theory is proposed. It is explained why the fuzzy sets theory for the creation of the model was chosen and how the model works, which is illustrated by an example procedure. The analysis of the sensitivity of the model to the change in the input data is provided.

To help with the implementation of the prequalification procedure the author created a computer program. The aim of the program is to facilitate the selection of contractors on a "standing list" and then choosing the best candidate from among them to complete a particular construction project. The scheme of the program and the rules of the contractor evaluation procedure are presented.

2.11. Literatura

- [1] Al-Harbi, K. M. (2001). Application of the AHP in project management. *International Journal of Project Management*, 19, 19-27.
- [2] Brauers, W. K. M., Zavadskas, E. K., Turskis, Z. & Vilutienė, T. (2008). Multi-objective contractor's ranking by applying the MOORA method. *Journal of Business Economics and Management*, 9, 245-255.
- [3] Elazouni, A. M. (2006). Classifying construction contractors using unsupervised-learning neural networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132, 1242-1253.
- [4] Fong, P. S. & Choi, S. K. (2000). Final contractor selection using the analytical hierarchy process. *Construction Management and Economics*, 18, 547-557.
- [5] Goetschel, R. i Voxmann, W. (1983). Topological properties of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets Systems*, 9, 31-43.
- [6] Guide on prequalification of civil works contractors, Asian Development Bank, Manila, Philippines, 1992.

- [7] Hatush, Z. & Skitmore, M. (1997). Evaluating contractor prequalification data: selection criteria and project success factors. *Construction Management and Economics*, 15, 129-147.
- [8] Hatush, Z. & Skitmore, M. (1997). Assessment and evaluation of contractor data against client goals using PERT approach. *Construction Management and Economics*, 15, 327-340.
- [9] Holt, G. D. (1996). Applying cluster analysis to construction contractor classification. *Building and Environment*, 31, 557-568.
- [10] Jaselskis E.J., Achieving construction projects through predictive discrete choice models, PH.D. thesis, University of Texas at Austin, 1988.
- [11] Jaselskis, E. J. & Russell, J. S. (1991). An efficiently structured approach for selection of most promising construction contractors. *Project Management Journal*, 12,4, 31-39.
- [12] Kaufmann, A. & Gupta, M. M. (1991). *Introduction to fuzzy arithmetic theory and application*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- [13] Khosrowshahi, F. (1999). Neural network model for contractors' prequalification for local authority projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 6, 3, 315-328.
- [14] Klir, G. J. & Folger, T. A. (1988). *Fuzzy sets, uncertainty and information*. New York: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- [15] Kumaraswamy, M. M. (1996). Contractor evaluation and selection: a Hong Kong perspective. *Building and Environment*, 31,3, 273-282.
- [16] Lam, K. C., Hu, T., Ng, S. T., Skitmore, M. & Cheung, S. O. (2001). A fuzzy neural network approach for contractor prequalification. *Construction Management and Economics*, 19, 175-188.
- [17] Lam, K. C., Hu, T. & Ng, S. T. (2005). Using the principal component analysis method as a tool in contractor pre-qualification. *Construction Management and Economics*, 23, 673-684.
- [18] Międzynarodowa Federacja Inżynierów Konsultantów, Standardowy formularz prekwalitykacyjny dla wykonawców, I wydanie, 1992.
- [19] Nguyen, V. U. (1985). Tender evaluation by fuzzy sets. *Journal of Construction Engineering and Management*, 111, 231-243.
- [20] Palaneeswaran, E. & Kumaraswamy, M. (2005). Web-based client advisory decision support system for design-builder prequalification. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 19,1, 69-82.
- [21] Plebankiewicz, E. (2011). *Procedura prekwalitykacji wykonawców robót budowlanych, monografia*. Kraków: Wydawnictwo PK.
- [22] Procurement of works: major equipment and industrial installation, The World Bank, Washington, D.C., 1993.
- [23] Russell, J. S. (1992). Decision models for analysis and evaluation of construction contractors. *Construction Management and Economics*, 10, 185-202.
- [24] Russel, J. S. i Fayek, A. (1994). Automated corrective action selection assistant. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120,1, 11-33.
- [25] Russell, J. S. & Skibniewski, M. J. (1988). Decision criteria in contractor prequalification. *Journal of Management in Engineering*, 4,2, 148-164.

- [26] Russell, J. S. & Skibniewski, M. J. (1990). QUALIFIER-1: Contractor prequalification model. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 4,1, 77-90.
- [27] Russell, J. S., Skibniewski, M. J. & Cozier, D. R. (1990). QUALIFIER-2: Knowledge-Based System for Contractor Prequalification. *Journal of Construction Engineering and Management*, 116, 157-171.
- [28] Singh, D. & Tiong, R. L. K. (2005). A fuzzy decision framework for contractor selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131,1, 62-70.
- [29] Ustawa z dnia 29 stycznia 2004r. Prawo zamówień publicznych (Ustawa z dnia 29 stycznia 2004 r. – Prawo zamówień publicznych (Dz. U. z 2010 r. Nr 113, poz. 759 i Nr 161, poz. 1078, z późniejszymi zmianami)
- [30] Wong, C. H. H. (2004). Contractor performance prediction model for the United Kingdom construction contractor: study of logistic regression approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130,5, 691-698.
- [31] Zadeh, L. H. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8,3, 338-353.