

MARCIN GAJZLER, AGNIESZKA DZIADOSZ, PAWEŁ SZYMAŃSKI*

PROBLEMY WYBORU METODY WSPOMAGAJĄCEJ PODEJMOWANIE DECYZJI W BUDOWNICTWIE

THE PROBLEMS OF CHOICE OF DECISION MAKING SUPPORT METHOD IN CONSTRUCTION

Streszczenie

Poszukiwaniu skomplikowanych metod analizy danych sprzyja złożoność i wieloaspektowość poruszanych problemów. Problematyka związana z produkcją budowlaną zachęca do poznawania nowych, jak również ich znanych od wielu lat metod w celu zaadaptowania ich do odmiennych zagadnień (różne dziedziny czy branże). W artykule skupiono uwagę na możliwości wykorzystania wybranych narzędzi z punktu widzenia jakości uzyskanych danych. Jako przykład podjęto próbę wykorzystania popularnego i rozpowszechnionego w literaturze zagadnienia selekcji przedsięwzięć inwestycyjnych.

Słowa kluczowe: metody wspomagające podejmowanie decyzji, selekcja projektów, analiza wariantów

Abstract

The complexity and multi-aspect nature of problems supports the search of various and more complex methods of data analysis. This paper is focused on a description of diverse methods and tools as well as on showing their possibilities. The quality of results is very crucial in decision-making process. The project selection problem was used as the background.

Keywords: decision support methods, project selection, variant analysis

* Dr inż. Marcin Gajzler, mgr inż. Agnieszka Dziadosz, dr inż. Paweł Szymański, Instytut Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Poznańska.

1. Wstęp

Wydaje się, że we współczesnej literaturze zgłębiono i dostatecznie precyzyjnie opracowano zagadnienia związane z produkcją budowlaną. Nic mylnego. Są obszary badawcze, dla których kontynuuje się są badania w poszukiwaniu odpowiedzi na pytania – jak zidentyfikować problem, jak mierzyć, czyli jakie do tego wybrać narzędzie lub metodę. Niekiedy skupiamy uwagę na samym pogłębieniu tematu i zidentyfikowaniu danego zjawiska czy zależności pomiędzy wyszczególnionymi zmiennymi. Zazwyczaj chodzi o możliwość zastosowania danej metody i zaadaptowania jej do już rozpoznanej sytuacji. W literaturze możemy odnaleźć wiele metod wymagających zaangażowania decydenta w różnym stopniu, mających rozbudowany aparat pojęciowy i narzędziowy w różnym zakresie, wymagających opracowania i przygotowania danych wejściowych oraz niekiedy spełnienia wymaganych założeń. Bogactwo tematyki jest ogromne począwszy od selekcji wariantów ogrzewania, przez wybór poszczególnych uczestników procesu inwestycyjnego, synchronizację dostaw, alokację zapasów, określenie wpływu czynników na efekt finalny (wpływ domieszek na wytrzymałość betonu) po wariantowanie rozwiązań technologiczno-materiałowych. W związku z tym nasuwa się pytanie, czym kierować się przy wyborze danego narzędzia. W tej kwestii praktycy i teoretycy prezentują odmienne poglądy. Czy jeżeli technika/metoda jest przystępna i łatwa w użyciu, to zapewni nam stosunkowo dokładną ocenę problemu? Jakie są przesłanki i jaki jest rząd wielkości błędu przy wykorzystaniu danego narzędzia? Celem autorów nie było pokazanie metodologii dla poszczególnych metod, lecz wskazanie aktualności tematyki oraz przedstawienie cech charakterystycznych dla danej techniki, wpływających na wynik końcowy analiz. Artykuł w pełni nie wyczerpuje tematu, ale jest tylko przyczynkiem do dalszych rozważań i zachętą do korzystania z doświadczeń innych dziedzin naukowych w zakresie stosowanych metod i możliwości łączenia przez tworzenie tzw. hybrydy.

2. Problematyka podejmowania decyzji

Często podejmujemy decyzje, które nie zawsze są racjonalne. W celu potwierdzenia przesłanek i ułatwienia procesu decyzyjnego pomocne może okazać się wykorzystanie narzędzi matematycznych i programów komputerowych. Zakres artykułu nie obejmuje wyszczególnienia i syntezy głównych obszarów badawczych w produkcji budowlanej, ale zawiera tylko spostrzeżenia dotyczące metod i narzędzi analizy danych, gdzie tłem do dyskusji jest selekcja przedsięwzięć inwestycyjnych. Do analizy wystarczy, według autorów, problem wariantowania rozwiązań realizacyjnych i lokalizacji inwestycji. Jest to zagadnienie popularne i stosunkowo aktualne, chętnie podejmowane zarówno w polskiej, jak i zagranicznej literaturze ze względu na specyfikę tematyki [1, 2, 4, 11, 16, 17, 21, 28, 29, 30]. Ocena inwestycji powinna być wieloaspektowa, uwzględniająca indywidualny charakter przedsięwzięcia. Możemy wyróżnić wiele determinantów, które mają wpływ na powodzenie projektu [4]. W większości przypadków autorzy kładli nacisk na analizę finansową planowanego przedsięwzięcia. Jak wykazały badania, nie tylko aspekt finansowy przy wyborze ostatecznego wariantu ma znaczenie [3]. Badania te pozwoliły zidentyfikować czynniki, które firmy brały pod uwagę przy selekcji przedsięwzięć w obszarze ekonomicznym (np. koszt realizacji przyszłej inwestycji) czy organizacyjno-technicznym

(technologia budowania, doświadczenie w wykonywaniu podobnych obiektów). Wśród odpowiedzi respondentów pojawiły się takie kryteria, jak możliwość etapowania czy prestiż inwestycji. Kolejny problem związany jest z określeniem typu i charakteru kryteriów selekcji. Niektóre z metod pozwalają na uwzględnienie w procedurze zarówno ilościowych (tj. zysk czy stopa zwrotu), jak i jakościowych czynników (m.in. stopień atrakcyjności lokalizacji). Czynniki niemierzalne mają wpływ na proces podejmowania decyzji i pozwalają rozpatrzeć zagadnienie wielowymiarowo. Od decydenta (*decision maker*) zależy przyjęcie odpowiedniej skali, która umożliwi dalszą analizę wariantów na podstawie wszystkich, zarówno mierzalnych, jak i niemierzalnych zmiennych. W zakresie tej tematyki poszczególni autorzy skupiali uwagę głównie na metodach wielokryterialnego wspomaganie decyzji, które w swej istocie pozwalały na uwzględnienie w procedurze dwojakiego charakteru kryteriów oraz technikach, które umożliwiają analizę, opierając się na niepełnych informacjach [30]. Zadaniem selekcji jest uporządkowanie rozpatrywanych wariantów rozwiązań (wykonawców, dostawców, wariantów lokalizacji centrum logistycznego itp.). Opracowane procedury upraszczają schemat decyzyjny, dostarczając dodatkowych przesłanek wyboru najodpowiedniejszego rozwiązania problemu. Nie jest to jednak zagadnienie uniwersalne z punktu widzenia dostępnych narzędzi. Nie każdą metodę można wykorzystać do problematyki selekcji przedsięwzięć. Istotny jest cel i podstawy użycia określonego narzędzia.

3. Metody wspomagające podejmowanie decyzji

Ze względu na zakres artykułu, jak również ilość dostępnych metod i technik, skupiono uwagę na kilku wybranych, które są najczęściej wykorzystywane i reprezentują inny obszar w zakresie wykorzystanego aparatu matematycznego. Takie ujęcie wydaje się racjonalne, gdyż pozwala przejść od prostych metod obliczeniowych po bardziej wyszukane. Należy podkreślić, że przyjęte przez autorów kryteria wyboru metod jednocześnie uniemożliwiają porównanie wzajemne z racji przyjętych odmiennych początkowych założeń. Głównym celem było wskazanie pewnych cech wspomnianych narzędzi, takich jak:

- czytelność i jakość uzyskanych wyników,
- zastosowany aparat matematyczny,
- łatwość weryfikacji i późniejszego wdrożenia uzyskanych danych do planowania i realizacji przedsięwzięcia.

Wspomniane techniki częściowo zostały scharakteryzowane w [6]. Nasuwa się pytanie o racjonalność stosowania skomplikowanych metod, przez które w konsekwencji można uzyskać trudno aplikacyjne dane. Problem może się pojawić zarówno w interpretacji uzyskanych wyników, a także w późniejszym ich wdrażaniu. Warto również poruszyć kwestie subiektywności ocen. Wiele metod powszechnie wykorzystywanych opiera się na subiektywnych opiniach. Stąd też zarówno oceny, jak i końcowy wynik mogą być obarczone pewnym błędem. Nie chodzi tu o dokładne podanie wartości, ile o ewidentne przybliżenie wyniku oraz ewentualne uszeregowanie wariantów rozwiązania problemu. Z subiektywnością spotykamy się głównie przy metodach, które umożliwiają nam rozpatrywanie czynników o charakterze jakościowym. W przypadku czynników wyrażonych w jednostkach mierzalnych ocena według danego kryterium wydaje się oczywista. Natomiast dla czynników jakościowych należy przyjąć liczbową skalę pomiaru. Coraz częściej do opisu rze-

czywistości musimy wykorzystać zmienne o charakterze jakościowym. Możliwość ich uwzględnienia w procesie podejmowania decyzji zapewniają nam różne metody wielokryterialne: Promethee, Elektra, AHP itp. lub zbiory rozmyte. Przegląd dostępnych metod oraz obszar ich wykorzystania możemy znaleźć w pracach [19, 20, 24, 26, 27, 30]. Trudno jednak oszacować stopień obciążenia błędem końcowych wyników ze względu na subiektywność ocen. Można domniemywać, że są to szacunki (przybliżenia) możliwe do przyjęcia przy dostarczeniu dodatkowych przesłanek w celu podjęcia racjonalnej decyzji. Bardziej restrykcyjnymi założeniami i wymaganiami kierują się metody statystyczne (rachunek prawdopodobieństwa), czego przykładem może być choćby dobór próby badawczej pozwalającej na uogólnienie wniosków do całej populacji. Kolejnym przykładem może być krzywa trendu (regresji), którą w następnym kroku należy zweryfikować m.in. poprzez stopień dobroci dopasowania do danych empirycznych, istotność parametrów, liniowość, analizę reszt itp. Statystyka matematyczna wykorzystywana jest głównie do danych o charakterze mierzalnym, które umożliwiają określenie prawdopodobieństwa otrzymania obliczonej wartości końcowej. W ramach przedsięwzięć budowlanych do oszacowania czasu i kosztu realizacji wykorzystywane są głównie zmienne losowe, ich funkcje gęstości i dystrybuanty. Nie bez powodu wybrane zostały sieci neuronowe. Otwierają one obszar metod sztucznej inteligencji, a w tym drogę do systemów eksperckich i różnych ujęć hybrydowych, np. systemów neuronowo-rozmytych, czego przykładem jest praca [10]. Do tego obszaru zaliczane są także systemy ewolucyjne (algorytmy genetyczne). Podsumowując, każda z metod ma swoje charakterystyczne cechy, które mogą w różnym stopniu wpłynąć na wynik. Do analiz przyjęto hipotetyczne dane, gdyż zamiarem autorów było pokazanie narzędzia oraz jego możliwości i cech charakterystycznych.

4. Przegląd wybranych metod analizy danych

4.1. Metody probabilistyczne (rachunek prawdopodobieństwa, statystyka)

Niewystarczająco doceniane, aczkolwiek o wielkim potencjale, są metody opisu i wnioskowania statystycznego. W pierwszym kroku stosowane są do badania struktury i zmienności zjawisk poprzez średnią, wariancję, kwartale, odchylenie standardowe czy współczynnik zmienności. Większość współczynników statystycznych wykorzystywana może być tylko dla zmiennych mierzalnych. Mamy wiele możliwości badania współzależności zjawisk poprzez współczynnik korelacji oraz badanie liniowości tego związku. Tutaj pojawia się luka dla cech niemierzalnych, np. z wykorzystaniem współczynnika korelacji ran Spearmana czy różnych miar opartych na statystyce χ^2 . Nie zawsze wiedza na temat siły zależności jest wystarczająca. Do podjęcia decyzji potrzebujemy uzyskać dodatkowe informacje, m.in. czy wzrost lub spadek wartości jednej cechy jest proporcjonalny do zmiany drugiej i o ile zmienia się wartość jednej cechy, jeżeli drugą zwiększymy o jednostkę. Odpowiedzi na takie pytania udzieli nam analiza regresji, tzn. model matematyczny opisujący wzajemne powiązania zmiennych przy ustaleniu postaci kształtu związku zachodzącego między nimi (liniowa lub krzywoliniowa funkcja regresji, regresja wieloraka) [18]. W zakresie przedsięwzięć budowlanych pierwsze miejsce zajmują zmienne losowe, funkcje gęstości i ich dystrybuanty, głównie w zakresie analizy czasu trwania i kosztu poszczególnych czynności, jak i całego zadania [15, 22]. Znajomość tych wartości stanowi podstawę

do symulacji komputerowej (metoda Monte Carlo). Często wynik analiz uzależniony jest od przyjętego typu rozkładu dla poszczególnych czynników. Aby ustrzec się od błędów, należy ustalić istotność parametrów modelu, określić stopień precyzyjności odzwierciedlenia rzeczywistych wartości. W celu wyeliminowania zmiennych o małym potencjale informacyjnym autorzy posiłkują się analizą dyskryminacji lub analizą głównych składowych. Ponadto statystyka, ekonometria czy metody z zakresu badań operacyjnych mogą zapewnić nam dogłębną analizę problemu i, ze względu na restrykcyjne wstępne założenia, dać bardziej dokładne wyniki.

4.2. Metody wielokryterialnego podejmowania decyzji (Promethee II)

Istotą metody Promethee, jak również innych metod zaliczanych do grona technik wielokryterialnego wspomaganie podejmowania decyzji, jest uszeregowanie rozpatrywanych wariantów. Podstawowym zadaniem decydenta jest utworzenie tzw. kryteriów zastępczych/uogólnionych, które opracowane są z punktu widzenia dominacji jednego wariantu nad drugim względem poszczególnych cząstkowych kryteriów oceny. Jako podstawę do określenia relacji między parami wariantów dla danego kryterium cząstkowego f_i przyjmuje się wartość różnicy

$$\delta_i(a, b) = f_i(a) - f_i(b) \quad (1)$$

Pierwszy etap to utworzenie dla każdego kryterium cząstkowego kryterium zastępczego P_i przyjmującego wartości z przedziału $[0, 1]$, przy czym 1 oznacza silną preferencję wariantu a nad b , zaś 0 świadczy o znikomej preferencji (autorzy [7, 27] proponują 6 postaci kryterium zastępczego – rys. 1). W zależności od wyboru kształtu funkcji istnieje wymóg sprecyzowania przez decydenta dodatkowych informacji, jak np. określenie progu równoważności (indifferencji) i progu silnej preferencji. Tylko postać krzywej Usual nie wymaga określenia progów. Następnie dla każdej pary wariantów należy obliczyć zagregowany indeks preferencji

$$\prod(a, b) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i(a, b) \quad (2)$$

$$\prod(b, a) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i(b, a) \quad (3)$$

gdzie:

w_i – współczynnik ważności dla danego kryterium,
 P_i – wartość kryterium zastępczego.

Indeks ten określa, w jakim stopniu wariant a jest preferowany w stosunku do wariantu b . Finalny etap analiz to określenie dla rozpatrywanych wariantów przepływów netto

$$\Phi(a) = \Phi^+(a) - \Phi^-(a) \quad (4)$$

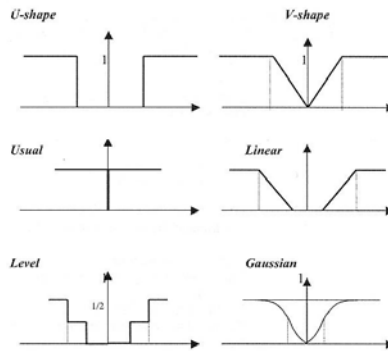
gdzie dodatni przepływ obliczamy ze wzoru [27]

$$\Phi^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{a \in A} \prod(a, b) \quad (5)$$

zaś ujemny przepływ

$$\Phi^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{a \in A} (b, a) \quad (6)$$

Różnica pomiędzy Promethee I i II sprowadza się do tego, że pierwsza uwzględnia w rozważaniach istnienie relacji nieporównywalności pomiędzy wariantami, co może wzbogacić zakres danych o rozwiązywanym zagadnieniu. Natomiast drugi sposób umożliwia zupełne uporządkowanie wariantów oraz postrzegany jest jako bardziej korzystny z punktu widzenia czytelności obliczeń i komfortu dla decydenta.



Rys. 1. Podstawowe krzywe funkcji preferencji (kryterium uogólnione) [7]

Fig. 1. Basic preference curves (generalized criterion) [7]

Rozważmy 3 projekty inwestycyjne pod kątem 5 kryteriów, dla których zastosowano postać funkcji preferencji V-shape (dla kryterium 1, 2, 3) i Linear (dla kryterium 4, 5; rys. 1). Do analizy przyjęto dane hipotetyczne, natomiast w celu ujednoczenia toku obliczeń zastosowano skalę od 1 do 10 do oceny alternatyw względem każdego kryterium (np. im koszt realizacji inwestycji będzie mniejszy, tym ocena według przyjętej skali będzie wyższa).

<i>Definicja funkcji preferencji [27]</i>	
V-shape	Linear
$P_i(\delta) = \begin{cases} 0 & \delta \leq 0 \\ \frac{\delta}{p} & 0 < \delta \leq p \\ 1 & \delta > p \end{cases}$	$P_i(\delta) = \begin{cases} 0 & \delta \leq q \\ \frac{\delta - q}{p - q} & q < \delta \leq p \\ 1 & \delta > p \end{cases}$

gdzie:

- δ – różnica pomiędzy wartościami i -tego kryterium dla wariantu a i b ,
- p – próg preferencji,
- q – próg indyferencji.

Tabela 1

Zestawienie danych

Alternatywy	Kryteria				
	K1 zysk z inwestycji	K2 koszt realizacji	K3 koszt zakupu gruntu	K4 doświadczenie w realizacji inwestycji danego typu	K5 możliwość etapowania inwestycji
Wagi kryteriów	0,3	0,25	0,15	0,15	0,15
A	9	4	4	8	5
B	8	6	7	4	8
C	7	8	9	7	7

Tabela 2

Zestawienie obliczeń

	Wartości dla kryterium K1		Wartości dla kryterium K2		Wartości dla kryterium K3		Wartości dla kryterium K4		Wartości dla kryterium K5	
	δ_1	P_1	δ_2	P_2	δ_3	P_3	δ_4	P_4	δ_5	P_5
$\delta(a,b)$	1	0,5	-2	0	-3	0	4	1	-3	0
$\delta(a,c)$	-1	0	2	1	3	1	-4	0	3	1
$\delta(b,a)$	2	1	-4	0	-5	0	1	0,33	-2	0
$\delta(b,c)$	-2	0	4	1	5	1	-1	0	2	1
$\delta(c,b)$	1	0,5	-2	0	-2	0	-3	0	1	0,33
$\delta(c,a)$	-1	0	2	1	2	1	3	1	-1	0
Przyjęty próg preferencji $p = 2$ Przyjęty próg indyferencji $q = 0,5$										

Tabela 3

Zestawienie wyników

Alternatywy	A	B	C	Φ^+	Φ^-	Φ
A	0	0,3	0,35	0,325	0,55	-0,225
B	0,55	0	0,20	0,375	0,425	-0,050
C	0,55	0,55	0	0,550	0,275	0,275

Zagregowane indeksy preferencji oraz wartości dodatnich i ujemnych przepływów przedstawiono tab. 3. Oczywiście do poruszanego problemu, ze względu na dwójaki charakter kryteriów, metody wielokryterialne są jak najbardziej użyteczne. Jednak do końca nie wiemy, o jak dużo warianty różnią się między sobą z punktu widzenia preferencji decydenta. W zamieszczonym przykładzie najlepszy jest projekt C, ale dokładnie nie możemy stwierdzić, o ile gorsze są projekty A i B. Metody te charakteryzują się znaczną dozą subiektywizmu, chociaż nie ujmuje to ich możliwościom i chęci rozpowszechnienia.

4.3. Sztuczne sieci neuronowe

Sztuczne sieci neuronowe są obecnie bardzo popularnym narzędziem, którego atrakcyjność i zastosowanie systematycznie rośnie. Wynika to z wielu względów. Wśród tych bardziej istotnych należy wymienić łatwość i szybkość modelowania zjawisk, co do których nie dysponujemy pełną wiedzą zależności w nich zachodzących lub zjawisk, których nie możemy opisać modelem deterministycznym. Proces podejmowania decyzji niewątpliwie można zaliczyć do takich zjawisk. Niestety, istnieje tutaj kilka istotnych ograniczeń, które jeśli nie uniemożliwią modelowania procesu decyzyjnego, to na pewno w dużym stopniu utrudnią to modelowanie. Podstawowym problemem jest konieczność (w przypadku wykorzystywania uczenia nadzorowanego, a takie najczęściej się spotyka) posiadania pewnego zestawu danych, na podstawie których sieć można nauczyć wnioskowania. Sztuczna sieć neuronowa działa bowiem analogicznie do tzw. czarnej skrzynki. Podając sygnał, na wejściu uzyskujemy sygnał wyjściowy, który możemy interpretować. Aby mogło się to stać, sieć musi wcześniej się nauczyć prowadzić takie wnioskowanie. Czynniki to opierając się na zestawach danych uczących, a więc zestawach sygnałów wejściowych oraz wyjściowych. Dane te mogą pochodzić z wcześniejszych obserwacji zjawiska (dane historyczne). W przypadku procesu podejmowania decyzji zebranie takich zestawów jest co najmniej kłopotliwe. Wynika to ze specyfiki procesu podejmowania decyzji. Dlatego też często stosuje się podejście uczenia sieci neuronowej z wykorzystaniem wiedzy eksperta, która zawarta w bazie wiedzy może zostać zastosowana w procesie uczenia sieci neuronowej. Oprócz uczenia nadzorowanego istnieją inne możliwości – uczenie z krytykiem czy uczenie nienadzorowane. Przy czym należy zauważyć, że takie rodzaje uczenia i związane z nimi sieci neuronowe mają swoje ograniczenia i węższe spektrum zastosowań.

Klasy problemów, w których sztuczne sieci neuronowe znajdują zastosowanie, można podzielić na trzy podstawowe grupy:

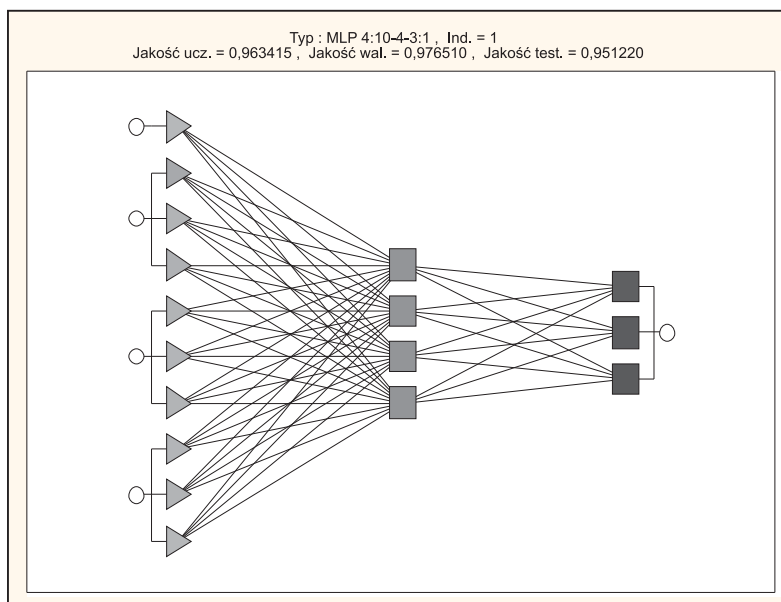
- zagadnienia aproksymacji,
- zagadnienia klasyfikacji,
- szeregi czasowe.

Wszystkie te klasy występują w problemach decyzyjnych. W przypadku aproksymacji możemy przykładowo analizować wartości współczynników charakteryzujących procesy budowlane (np. w aspekcie wydajności) i na ich podstawie określać rozwiązania optymalne. Zagadnienie klasyfikacji to analiza wyboru strategii w przedsięwzięciu budowlanym (np. w aspekcie prowadzenia napraw i remontów) i próba rozstrzygnięcia, która ze strategii będzie optymalna dla istniejących warunków. Problematyka szeregów czasowych pozwoli nam określić pewne wartości charakteryzujące procesy budowlane na podstawie informacji zebranych w minionym okresie i w odniesieniu do obecnych warunków (np. problematyka sezonowości i wpływ na wydajność).

W zależności od charakteru analizowanego problemu sztuczne sieci neuronowe generują wyniki w różnej postaci. W przypadku problemów klasyfikacyjnych może być to wniosek w postaci sygnału zero-jedynkowego. Oznacza to akceptację albo negację danej zmiennej wyjściowej. W przypadku problemów aproksymacyjnych uzyskamy wynik w postaci konkretnej wartości. Interpretacja takich wyników musi cechować się wysoką ostrożnością. Wyniki te zależą od wielu czynników, z których najważniejszym jest jakość sieci i przeprowadzonego uczenia. Istnieje reguła GIGO (*garbage in–garbage out*), czyli „śmieci na wejściu–śmieci na wyjściu”, która podkreśla jakość uczenia i danych uczących. Innym czynnikiem jest dostrajanie sieci. Można podczas tego procesu manipulować progami

klasyfikacji i to będzie miało bezpośredni wpływ na wynik. Wyników uzyskiwanych za pomocą sztucznych sieci neuronowych nie powinno się traktować jako wysoce dokładnych. Poprawnie nauczona sieć ma zdolności do uogólniania i stąd można pokusić się o wcześniejsze stwierdzenie. Sieć neuronowa może generować dokładne wyniki, ale odbywa się to najczęściej dla wybranych przypadków w wąskim przedziale. Mówimy wówczas o zjawisku przeuczenia sieci i traktujemy to zjawisko jako niekorzystne.

Na rysunku 2 przedstawiono budowę sztucznej sieci neuronowej MLP (*Multi-Layer Perceptron*) 4:10-4-3:1 wykorzystanej w analizie zagadnień remontowych i wyboru optymalnej decyzji. Sieć ta posiada 4 wejścia (wiek konstrukcji, stopień zużycia technicznego, stopień degradacji, oddziaływanie środowiska), przy czym ilość neuronów wejściowych jest większa ze względu na sposób kodowania zmiennych klasyfikacyjnych. Istnieje jedna warstwa ukryta, której liczebność neuronów została określona drogą empiryczną (istnieją również przybliżone reguły), oraz wyjście związane z określoną strategią (naprawa doraźna, naprawa zasadnicza, rozbiórka).



Rys. 2. Structura sztucznej sieci neuronowej MLP 4:10-4-3:1

Fig. 2. Structure of artificial neuron network MLP 4:10-4-3:1

W tabeli 4 przedstawiono wyniki uzyskiwane przez sieć MLP 4:10-4-3:1. W zastawieniu ujęto błędy sieci wynikające z procesu uczenia. Ich interpretacja jest jednak trudna i złożona. Dlatego lepiej oceniać zdolności sieci do poprawnego wnioskowania, analizując statystyki sieci w postaci współczynników jakości sieci (dla zbiorów uczących, testowych i walidacyjnych). Mówią one o poprawności odpowiedzi sieci w stosunku do rzeczywistych danych. Dokładniejszy obraz jakości sieci można uzyskać, analizując macierze pomyłek dla wyjścia.

Zestawienie wyników

Sieć MLP 4:10-4-3:1		Algorytm BP 500		Najlepsza sieć BP478	
jakość uczenia Q_L	błąd uczenia E_L	jakość walidacji Q_V	błąd walidacji E_V	jakość testowania Q_T	błąd testowania E_T
0,963415	0,087649	0,976510	0,101837	0,951220	0,099235

4.4. Drzewa decyzyjne

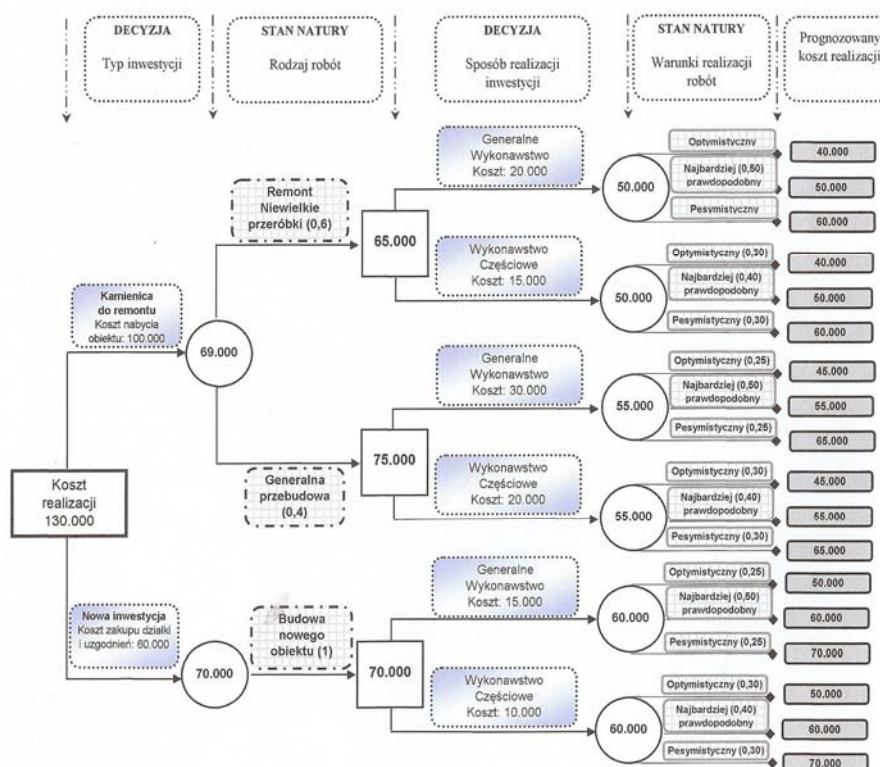
Jedną z najczęściej używanych technik analizy danych są drzewa decyzyjne. Jest to metoda nieparametryczna wykorzystywana w obszarze teorii podejmowania decyzji, szczególnie przydatna w problemach decyzyjnych z licznymi, rozgałęziającymi się wariantami. Do podstawowych cech należy zaliczyć prostotę i czytelność w przedstawieniu wariantów decyzji i ich konsekwencji (prawdopodobieństwo wystąpienia danego wariantu) oraz możliwość zastosowania własności prawdopodobieństwa (całkowite, warunkowe). Stanowią wygodną formę przedstawiania problemu, kiedy mamy do czynienia z podejmowaniem decyzji w warunkach ryzyka. Są to szczególne formy grafu składające się z gałęzi oraz węzłów, przy czym węzły dzielimy na decyzyjne (przedstawiane w postaci kwadratu/prostokąta) i losowe (okrąg, owal). Węzły decyzyjne pozostają niejako pod kontrolą decydenta (np. warianty decyzji, do których jesteśmy pewni – jak zakup środka materialnego, np. samochodu). Natomiast węzły losowe są poza kontrolą, determinowane przez czynniki zewnętrzne, losowe (jak np. prognozowany poziom popytu czy szansa na wygranie przetargu). Podział węzłów wynika z charakteru sytuacji. Dla każdego stanu natury podajemy prawdopodobieństwo, z jakim może on wystąpić, jeśli rzeczywiście je znamy. Głównym kryterium wykorzystywanym do analizy drzew jest oczekiwana wartość pieniężna, która może być albo maksymalizowana, albo minimalizowana. Ponadto, dzięki tej metodzie mamy możliwość badania procesu podejmowania decyzji sekwencyjnych (wieloetapowych) w warunkach ryzyka oraz wiązania wzajemnie czynności w ciągu przyczynowo-skutkowe. Często kolejna decyzja jest determinowana przez decyzję uprzednio podjętą, czyli zależy od wyników pierwszej. W przypadku decyzji wieloetapowych skonstruowanie drzewa jest korzystniejsze niż tworzenie tablicy decyzyjnej. Budowę drzewa zaczynamy od lewej strony do prawej, natomiast analizę odwrotnie. Konsekwencjom podjęcia każdej decyzji przypisywana jest pewna wartość (zysk lub strata). W tym celu wykorzystywane jest kryterium oczekiwanej wartości pieniężnej EVM (*Expected Monetary Value*, czasem zwane oczekiwanym efektem finansowym). Zatem wartość oczekiwana ma wymiar finansowy i obliczana jest dla każdej strategii według równania

$$EVM = \sum_{j=1}^n V_j \cdot P_j \quad (7)$$

gdzie:

- V_j – efekt finansowy j -tego stanu natury (wartości dodatnie dla zysku lub ujemne dla strat),
- P_j – prawdopodobieństwo uzyskania j -tego efektu finansowego,
- n – liczba stanów natury.

Użyteczność drzew wynika z tego, że na jednym schemacie zestawione są wszystkie zdarzenia, jakie mogą zaistnieć w wyniku podjęcia poszczególnych decyzji i wystąpienia poszczególnych stanów. Zasady budowy dendrytów oraz ich analizy przedstawione zostały w pracach [23, 25, 27].



Rys. 3. Drzewo decyzyjne dla problemu wariantowania rozwiązań

Fig. 3. Variant solution decision tree

Drzewo przedstawia strukturę rozwiązania problemu związanego z wyborem typu inwestycji i sposobem jej realizacji. Do analizy przyjęto dane hipotetyczne oraz jako koszt – jednostki umowne. Przedsiębiorstwo ma możliwość budowy nowego obiektu (koszt działki i niezbędnych uzgodnień wynosi 60 000) lub wyremontowania już istniejącego obiektu (koszt nabycia budynku – 100 000). Przedstawiciele firmy szacunkowo określili wartość kosztów ponoszonych przez firmę w zależności od tego, czy inwestycja będzie realizowana w systemie generalnego wykonawstwa czy wykonawstwa częściowego (różni podwykonawcy, natomiast koordynacją prac zajmie się przedstawiciel przedsiębiorstwa). Z analizy drzewa wynika, że najmniejsze koszty zostaną poniesione niezależnie od warunków realizacji robót, gdy firma podejmie się budowy nowego obiektu w systemie wykonawstwa częściowego (rys. 3).

4.5. Zbiory rozmyte

Lata 70. przyniosły rozwój teorii zbiorów i logiki rozmytej, ponieważ dostępny aparat matematyczny nie był w stanie opisać trudnych do jednoznacznego zdefiniowania pojęć. W wielu dziedzinach życia spotykamy się z terminami trudnymi do określenia i do niedawna informacje nie dość precyzyjnie zdefiniowane, aczkolwiek istotne dla podjęcia racjonalnej decyzji, były tracone. Stworzone podwaliny zbiorów rozmytych pozwoliły na opis zjawiska określonego w naturze w sposób nieprecyzyjny i wieloznaczny tak, jak wysoki budynek czy średni wzrost. Zapewniają możliwość formalnego zapisu zmiennych lingwistycznych w postaci wielkości mierzalnych, korzystając z ustalonego aparatu pojęciowego teorii zbiorów rozmytych, gdzie wstępnie należy dla każdego elementu określić obszar rozważań (przestrzeń, zbiór) w celu późniejszego określenia jego przynależności do zbioru. Do ustalenia przynależności każdego elementu do zbioru wykorzystywane są funkcje przynależności wyrażone poprzez np. wykres w postaci ciągłej. Stąd też rozwiązanie problemu następuje na podstawie subiektywnych ocen (decydent sam wybiera funkcję przynależności elementu do zbioru, kierując się własną wiedzą i doświadczeniem). Dlatego trudno mówić o subiektywizmie ocen w przypadku metod z zakresu prognozowania, ekonometrii czy statystyki, gdyż dane muszą spełniać określone założenia. W większości przypadków są to rzeczywiste wyniki z pomiarów doświadczalnych (wyniki wytrzymałości na ściskanie próbek betonowych, czas wykonywania czynności itp.), które poddane są dalszej obróbce statystycznej. Oczywiście istnieje ryzyko, że wyniki nie dadzą w rezultacie linii trendu, ponieważ będą nazbyt rozproszone. Nie umniejsza to jednak roli i potencjału, jaki drzemie w logice rozmytej, o czym świadczy bogactwo publikacji i różnorodność problematyki wykorzystującej specyfikę tego narzędzia [9, 10, 14, 19, 20, 30].

5. Podsumowanie

Wydaje się, że na popularność danej metody wpływa wiele czynników, m.in. stopień skomplikowania obliczeń, jakość uzyskanych wyników oraz możliwość ich zaimplementowania. Wybrane przez autorów metody reprezentują różne grupy uniemożliwiające ich wzajemne porównanie. Każda z metod cechuje się odmiennym tokiem obliczeń, wymogami i założeniami, jak również charakterem uzyskanych informacji. Zatem porównanie ich obarczone byłoby znacznym błędem. Niektóre z narzędzi dobrze odzwierciedlają naturę rozpatrywanego zjawiska i wykazują poprawne własności prognostyczne. O popularności może świadczyć liczba publikacji poświęconych rozwiązaniu danego problemu z wykorzystaniem konkretnego narzędzia. Należy nadmienić, że nie zawsze metoda jest adekwatna do problemu. Nie każda jest możliwa do wykorzystania ze względu na specyfikę rozpatrywanego zagadnienia. Czasami zwiększanie liczby zmiennych w regresji wielorakiej czy ilość warstw w sieciach neuronowych nie przynosi spodziewanych rezultatów w postaci większej precyzji obliczeń. Ważny jest podstawowy cel prowadzenia analiz. Niekiedy potrzebne są nam tylko szacunkowe dane, a czasem zainteresowani jesteśmy jak najdokładniejszym oszacowaniem, obciążonym małym błędem predykcji. Omówione przykłady nie są identyczne, gdyż zakres rozpatrywanego problemu był częściowo podyktowany chęcią zaprezentowania narzędzia/metody, stąd pewne różnice.

Literatura

- [1] Babic Z., Plazibat N., *Ranking of enterprises based on multicriterial analysis*, International Journal of Production Economics, 1998, 29-35.
- [2] Badri M.A., Davis D., Davis D., *A comprehensive 0-1 goal programming model for project selection*, International Journal of Project Management, Vol. 19, 2001, 243-251.
- [3] Dziadosz A., *Realizacja przedsięwzięć na krakowskim rynku budowlanym w opiniach deweloperów*, Przegląd Budowlany, nr 4, 2006, 26-31.
- [4] Dziadosz A., *Ocena i selekcja inwestycji budowlanych przy wykorzystaniu analitycznego procesu hierarchicznego – AHP*, Czasopismo Techniczne, z. 1-B/2008, Wyd. Politechniki Krakowskiej, 41-51.
- [5] Dziadosz A., Kapliński O., *Ryzyko w inżynierii przedsięwzięć budowlanych. Retrospekcja z konferencji w Ciechocinku (1999-2007)*, [w:] *Strategie Zarządzania Ryzykiem w przedsiębiorstwie – ryzyko przedsiębiorstwa a ryzyko projektu*, red. J. Bizon-Górecka, Wyd. JBG-Consulting, Bydgoszcz 2008, 29-46.
- [6] Dziadosz A., *Przegląd wybranych metod wspomagających analizę ryzyka przedsięwzięć budowlanych*, Materiały z 55 Konferencji Naukowej „Krynica 2009”, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2009, 707-714.
- [7] Dulmin R., Mininno V., *Supplier selection using a multi-criteria decision aid method*, Journal of Purchasing and Supply Management, 9 (2003), 177-187.
- [8] Gajzler M., *Hybrid advisory systems and the possibilities of its usage in the process of industrial flooring repairs*, The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC-2008, Selected papers June 26-29, Vilnius, Lithuania, edited by E.K. Zavadskas, A. Kaklauskas, M.J. Skibniewski, 2008, 459-464.
- [9] Gajzler M., *The use of fuzzy logic in decision-making systems*, Foundations of Civil and Environmental Engineering, No. 5, 2004, 7-20.
- [10] Gajzler M., *Hybrydowy system doradczy dla napraw betonowych posadzek przemysłowych*, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 2008.
- [11] Ginevicius R., Podvezko V., *Assessing the financial state of construction enterprises*, Technological and Economic Development of Economy (Ukio technologinis ir ekonominis vystymas), Vol. 12, No. 3, 2006, 188-194.
- [12] Kapliński O., *Development and usefulness of planning techniques and decision-making foundations on the example of construction enterprises in Poland*, Technological and Economic Development of Economy, Vol. 14, No. 4, 2008, 492-502.
- [13] Kapliński O., *Information technology in the development of the polish construction industry*, Technological and Economic Development of Economy, Vol. 15, No. 3, 2009, 437-452.
- [14] Konior J., *Nieprzewidziane roboty budowlane jako zdarzenia i relacje rozmyte*, Przegląd Budowlany, nr 2, 2006, 36-39.
- [15] Marcinkowski R., Koper A., *Ocena ryzyka czasu i kosztów w planowaniu produkcji budowlanej*, Przegląd Budowlany, nr 7-8, 2008, 70-74.
- [16] Mohamed S., McCowan A.K., *Modelling project investment decision under uncertainty using possibility theory*, International Journal of Project Management, 2001, Vol. 19, 231-241.

- [17] Nowak M., *Investment projects evaluation by simulation and multiple criteria decision aiding procedure*, Journal of Civil Engineering and Management, 2005, Vol. 11, No. 3, 193-202.
- [18] Pająk M., *Analiza pracochłonności i materiałochłonności pali wierconych świdrem ciągłym*, rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Warszawa 2009.
- [19] Plebankiewicz E., *Model strategii przetargowej wykonawcy budowlanego z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2001.
- [20] Plebankiewicz E., *Contractor prequalification model using fuzzy sets*, Journal of Civil Engineering and Management, 2009, Vol. 15, No. 4, 377-385.
- [21] Shevchenko S., Ustinovichius L., Andruskevicius A., *Multi-attribute analysis of investment risk alternatives in construction*, Technological and Economic Development of Economy, Vol. 14, No. 3, 2008, 428-443.
- [22] Skorupka D., *Metoda identyfikacji i kompleksowej oceny ryzyka realizacji przedsięwzięć budowlanych*, [w:] *Metody i modele badań w inżynierii przedsięwzięć budowlanych*, red. Kapliński O., Studia z zakresu inżynierii nr 57, Warszawa 2007, 185-204.
- [23] Szapiro T. (red.), *Decyzje menedżerskie z Excelem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2000.
- [24] Szwabowski J., Deszcz J., *Metody wielokryterialnej analizy porównawczej – podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
- [25] Szymanowski W., *Techniki ilościowe w zarządzaniu operacyjnym w przedsiębiorstwie*, Wyd. SGGW, Warszawa 2001.
- [26] Thiel T., *Metodyczne aspekty wielokryterialnego wspomaganie decyzji w inżynierii produkcji budowlanej*, rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Poznań 1996.
- [27] Trzaskalik T., *Wprowadzenie do badań operacyjnych z komputerem*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2008.
- [28] Ustinovichius L., *Determination of efficiency of investments in construction*, International Journal of Strategic Property Management, 2004, Vol. 8, No. 1, 25-43.
- [29] Zavadskas E., Ustinovichius L., Stasiulionis A., *Multicriteria valuation of commercial construction projects for investment purposes*, Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 10, No. 2, 2004, 151-166.
- [30] Zima K., *Analiza deweloperskich przedsięwzięć budowlanych z zastosowaniem logiki rozmytej*, rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2008.