

PRACE NAUKOWE

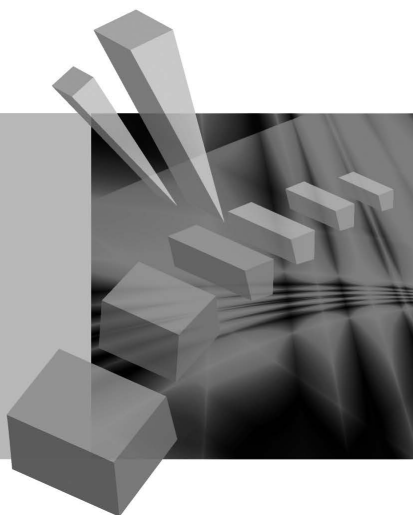
Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu

RESEARCH PAPERS

of Wrocław University of Economics

238

Zastosowania badań operacyjnych Zarządzanie projektami, decyzje finansowe, logistyka



Redaktor naukowy

Ewa Konarzewska-Gubała



Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu
Wrocław 2011

Recenzenci: Stefan Grzesiak, Donata Kopańska-Bródka, Wojciech Sikora,
Józef Stawicki, Tomasz Szapiro, Tadeusz Trzaskalik

Redaktor Wydawnictwa: Elżbieta Kożuchowska

Redaktor techniczny: Barbara Łopusiewicz

Korektor: Barbara Cibis

Łamanie: Małgorzata Czupryńska

Projekt okładki: Beata Dębska

Publikacja jest dostępna w Internecie na stronach:

www.ibuk.pl, www.ebscohost.com,

The Central and Eastern European Online Library www.ceeol.com,

a także w adnotowanej bibliografii zagadnień ekonomicznych BazEkon

http://kangur.uek.krakow.pl/bazy_ae/bazekon/nowy/index.php

Informacje o naborze artykułów i zasadach recenzowania znajdują się

na stronie internetowej Wydawnictwa

www.wydawnictwo.ue.wroc.pl

Kopiowanie i powielanie w jakiegokolwiek formie

wymaga pisemnej zgody Wydawcy

© Copyright by Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
Wrocław 2011

ISSN 1899-3192

ISBN 978-83-7695-195-9

Wersja pierwotna: publikacja drukowana

Druk: Drukarnia TOTEM

Spis treści

Wstęp.....	9
------------	---

Część 1. Zarządzanie projektami i innowacjami

Tomasz Błaszczyk: Świadomość i potrzeby stosowania metod badań operacyjnych w pracy polskich kierowników projektów	13
Barbara Gładysz: Metoda wyznaczania ścieżki krytycznej przedsięwzięć z rozmytymi czasami realizacji zadań	25
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proactive and reactive scheduling in practice.....	34
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: A new method of project schedule levelling	52
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Harmonogramowanie projektów na podstawie charakterystyk kompetencji – wrażliwość modelu na różne aspekty liczb rozmytych	66
Jerzy Michnik: Zależności między kryteriami w wielokryterialnych modelach zarządzania innowacjami	80

Część 2. Podejmowanie decyzji finansowych

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Wielokryterialna symulacyjna ocena decyzji o finansowaniu edukacji wyższej	95
Marek Kośny: Koncepcja dominacji pierwszego i drugiego rzędu w analizie wzorca zmian w rozkładzie dochodu.....	111
Agnieszka Przybylska-Mazur: Podejmowanie decyzji monetarnych w kontekście realizacji celu inflacyjnego	120
Agata Gluzicka: Analiza ryzyka rynków finansowych w okresach gwałtownych zmian ekonomicznych	131
Ewa Michalska: Zastosowanie prawie dominacji stochastycznych w konstrukcji portfela akcji	144
Grzegorz Tarczyński: Analiza wpływu ogólnej koniunktury giełdowej i wzrostu PKB na stopy zwrotu z portfela akcji przy wykorzystaniu rozmytych modeli Markowitza.....	153

Część 3. Problemy logistyki, lokalizacji i rekrutacji

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Wpływ różnych koncepcji komisjonowania na czas realizacji zamówienia w węzle logistycznym	173
Mateusz Grzesiak: Zastosowanie modelu transportowego do racjonalizacji dostaw wody w regionie	186
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model odejść klientów na rynku telekomunikacyjnym z uwzględnieniem efektów sieciowych	197
Piotr Miszczyński: Problem preselekcji kandydatów w rekrutacji masowej na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa	211

Część 4. Pomiar dokonań, konkurencja firm, negocjacje

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Podejście ilościowe do odwzorowania celów strategicznych w systemie pomiaru dokonań organizacji na przykładzie strategii miasta Wrocławia	231
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Zastosowanie metody DEA do pomiaru efektywności nakładów na reklamę w przemyśle piwowarskim	246
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Konkurencja firm o różnym horyzoncie planowania w modelu Bertrand z kosztem decyzji i ograniczoną świadomością cenową klientów	263
Jakub Brzostowski: Poprawa rozwiązania negocjacyjnego w systemie <i>Nego-Manage</i> poprzez zastosowanie rozwiązania przetargowego	296

Część 5. Problemy metodologiczne

Helena Gaspars-Wieloch: Metakryterium w ciągłej wersji optymalizacji wielocelowej – analiza mankamentów metody i próba jej udoskonalenia.	313
Dorota Górecka: Porównanie wybranych metod określania wag dla kryteriów oceny wariantów decyzyjnych	333
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Wybrane aspekty optymalizacji prognoz kombinowanych	351
Artur Prędko: Spojrzenie na metody estymacji w modelach regresyjnych przez pryzmat programowania matematycznego	365
Jan Schneider, Dorota Kuchta: A new ranking method for fuzzy numbers and its application to the fuzzy knapsack problem	379

Summaries

Part 1. Project and innovation management

Tomasz Błaszczuk: Awareness and the need for operations research methods in the work of Polish project managers	24
Barbara Gładysz: A method for finding critical path in a project with fuzzy tasks durations	33
Marek Janczura, Dorota Kuchta: Proaktywne i reaktywne harmonogramowanie w praktyce	51
Tymon Marchwicki, Dorota Kuchta: Nowa metoda niwelacji harmonogramu projektu	64
Aleksandra Rutkowska, Michał Urbaniak: Project scheduling using fuzzy characteristics of competence – sensitivity of the model to the use of different aspects of fuzzy numbers	79
Jerzy Michnik: Dependence among criteria in multiple criteria models of innovation management	92

Part 2. Financial decision-making

Przemysław Szufel, Tomasz Szapiro: Simulation approach in multicriteria decision analysis of higher education financing policy	110
Marek Kośny: First and second-order stochastic dominance in analyses of income growth pattern	119
Agnieszka Przybylska-Mazur: Monetary policy making in context of execution of the strategy of direct inflation targeting	130
Agata Gluzicka: Analysis of risk of financial markets in periods of violent economic changes	143
Ewa Michalska: Application of almost stochastic dominance in construction of portfolio of shares	152
Grzegorz Tarczyński: Analysis of the impact of economic trends and GDP growth in the return of shares using fuzzy Markowitz models	169

Part 3. Logistics, localization and recruitment problems

Paweł Hanczar, Michał Jakubiak: Influence of different order picking concepts on the time of execution order in logistics node	185
Mateusz Grzesiak: Application of transportation model for rationalization of water supply in the region	196
Piotr Wojewnik, Bogumił Kamiński, Marek Antosiewicz, Mateusz Zawisza: Model of churn in the telecommunications market with network effects	210

Piotr Miszczyński: The problem of pre-selection of candidates in mass recruitment on the example of the chosen company.....	227
--	-----

Part 4. Performance measurement, companies competition, negotiations

Marta Chudykowska, Ewa Konarzewska-Gubała: Quantitative approach to the organization strategy mapping into the performance measurement system: case of strategy for Wrocław city	245
Michał Purczyński, Paulina Dolata: Application of Data Envelopment Analysis to measure effectiveness of advertising spendings in the brewing industry	262
Mateusz Zawisza, Bogumił Kamiński, Dariusz Witkowski: Bertrand competition with switching cost.....	295
Jakub Brzostowski: Improving negotiation outcome in the NegoManage system by the use of bargaining solution.....	309

Part 5. Methodological problems

Helena Gaspars-Wieloch: The aggregate objective function in the continuous version of the multicriteria optimization – analysis of the shortcomings of the method and attempt at improving it.....	332
Dorota Górecka: Comparison of chosen methods for determining the weights of criteria for evaluating decision variants	350
Maria M. Kaźmierska-Zatoń: Some aspects of optimizing combined forecasts.....	363
Artur Prędko: Mathematical programming perspective on estimation methods for regression models	378
Jan Schneider, Dorota Kuchta: Nowa metoda rankingowa dla liczb rozmytych i jej zastosowanie dla problemu rozmytego plecaka	389

Jerzy Michnik

Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach

ZALEŻNOŚCI MIĘDZY KRYTERIAMI W WIELOKRYTERIALNYCH MODELACH ZARZĄDZANIA INNOWACJAMI*

Streszczenie: W wielu problemach praktycznych kryteria mogą być na tyle mocno powiązane, że założenie o niezależności staje się zbyt dużym uproszczeniem i może prowadzić do błędnych decyzji. Takim przykładem jest zarządzanie innowacjami, które ze względu na silne powiązanie z zarządzaniem strategicznym operuje na wielu różnorodnych kryteriach, między którymi istnieją istotne zależności. Konstrukcja modelu z oddziałującymi na siebie kryteriami wymaga użycia technik pozwalających na ocenę ilościową siły oddziaływań oraz kompleksowej agregacji ocen uwzględniających również te oddziaływania. W pracy omówiono metody ANP (*Analytic Network Process*) i DEMATEL (*Decision Making Trial and Evaluation Laboratory*) oraz możliwości ich zastosowania we wspomaganiu decyzji w zarządzaniu innowacjami.

Słowa kluczowe: ANP, DEMATEL, wielokryterialne podejmowanie decyzji, zarządzanie innowacjami.

1. Wstęp

Wprowadzanie nowych produktów na rynek często wiąże się ze znacznymi zmianami w technologii produkcji i organizacji firmy; obarczone jest też znacznym ryzykiem. Decyzje podejmowane przy wprowadzaniu innowacji mają wpływ na wiele obszarów aktywności firmy i wymagają uwzględnienia wielu kryteriów o różnorodnym charakterze.

W artykule podjęto próbę konstrukcji przykładowego modelu podejmowania decyzji w obszarze zarządzania innowacjami. Model ten oparto na wynikach analizy kryteriów, które odgrywają ważną rolę w badanym problemie decyzyjnym. Ze względu na silne powiązania elementów składowych modelu postanowiono odejść od klasycznego podejścia metod wielokryterialnych, w których zakłada się wzajem-

* Praca naukowa finansowana częściowo ze środków na naukę w latach 2009–2012 jako projekt badawczy nr NN111 438637.

ną niezależność kryteriów, a także wariantów decyzyjnych. Na podstawie danych umownych przeprowadzono obliczenia za pomocą dwóch metod uwzględniających oddziaływanie w badanym systemie: ANP i DEMATEL.

W sekcji 2 omówiono kryteria, jakie występują w literaturze na temat zarządzania innowacjami. Dokonano również klasyfikacji kryteriów, uwzględniając występujące między nimi powiązania merytoryczne. W sekcji 3 i 4 przedstawiono kolejno metodę ANP i DEMATEL. Sekcja 5 obejmuje prezentację wielokryterialnego modelu podejmowania decyzji w zarządzaniu innowacjami oraz zastosowanie metod ANP i DEMATEL do oceny wariantów decyzyjnych. Artykuł kończy podsumowanie, w którym dokonano porównania rozważanych metod.

2. Analiza kryteriów w modelu zarządzania innowacjami

Na podstawie analizy literatury zaproponowano podział kryteriów na pięć głównych grup [Michnik 2010]:

- kryteria strategiczne,
- kryteria finansowe,
- kryteria techniczne,
- kryteria organizacyjno-biznesowe,
- kryteria rynkowe.

Kryteria strategiczne oceniają warianty decyzyjne z punktu widzenia planów strategicznych i długoterminowych celów. Jako przykłady takich kryteriów mogą służyć: wzmocnienie pozycji konkurencyjnej [Jasiński 2006, s. 40] lub wyróżniająca pozycja na rynku [Westland 2008, s. xxxviii]. Kryteria strategiczne mogą zostać bardziej skonkretyzowane i odnosić się do np. zdobycia wyróżniającej pozycji na rynku określonej linii wyrobów lub na rynku o określonych granicach geograficznych.

Kryteria finansowe dotyczą kosztów inwestycji w przygotowanie innowacji oraz spodziewanych przychodów ze sprzedaży nowych produktów. Z natury rzeczy kryteria te również odgrywają bardzo ważną, a czasami wręcz główną rolę w ocenie projektów. To, ile i jakie kryteria finansowe zostaną uwzględnione w modelu decyzyjnym, zależy będzie od modelu zarządzania finansami w firmie. W praktyce mogą pojawić się różne rozwiązania, które w mniejszym lub większym stopniu uwzględnić będą także ryzyko finansowe projektu. W Advanced Technology Division (Bell Laboratories) jako kryteria finansowe przyjęto: kwotę inwestycji i przewidywany przepływ finansowy w następnych czterech latach zdyskontowany kosztem kapitału firmy z poprawką uwzględniającą ryzyko [Linton i in. 2000]. Inny przykład to zapewnienie dodatniego zwrotu z inwestycji (*return on investment*) w ciągu dwóch lat [Calantone i in. 1999].

Ze względu na ich szczególne powiązanie z innowacjami na specjalną uwagę zasługują kryteria techniczne. Obejmują one kwestie związane z techniczną stroną przygotowania nowych produktów (potencjał badawczo-rozwojowy, kompetencje technologiczne). W zależności od specyfiki firmy mogą pojawić się w ramach tej

grupy liczne kryteria o dosyć zróżnicowanym charakterze. W artykule [Calantone i in. 1999] wymienione są np. następujące kryteria: produkt pasuje do najlepszej technologii firmy, produkt pozwala na wykorzystanie najlepszych dostawców, produkt jest zaprojektowany według wymagań jakości docelowego segmentu rynku.

Kryteria organizacyjno-biznesowe dotyczą umiejętności organizacyjnych, kompetencji marketingowych, logistycznych itp. W szczególności kryteria te mogą być związane np. z planami odnoszącymi się do obszaru sprzedaży, szkoleń i wynagrodzeń [Calantone i in. 1999].

W grupie kryteriów rynkowych pojawić się może wiele różnych kryteriów, mających najczęściej charakter jakościowy. Najważniejsze z nich oceniają reakcję klientów i konkurencji na nowy produkt. Może to być np. satysfakcja klienta (w tym: poziom obsługi i jakość serwisu) [Englund, Graham 1999]. W tej grupie mogą się pojawić też kryteria odnoszące się do pozycji nowego produktu, np. uwzględniające cykl życia produktu, cykl własności intelektualnej [Linton i in. 2000].

3. Metoda ANP

Metoda ANP powstała jako rozwinięcie metody AHP. Na podstawie liczbowych ocen porównań, wag poszczególnych elementów oraz ich wpływu na inne elementy badanego systemu pozwala ona na uzyskanie syntetycznej oceny liczbowej wybranych elementów. W kontekście wielokryterialnych metod podejmowania decyzji syntetyczne oceny odnoszą się do wariantów decyzyjnych, dając możliwość ich uporządkowania: od najbardziej do najmniej preferowanego.

Ogólnie rzecz biorąc, przez system rozumie się obiekt złożony z elementów, między którymi występują pewne relacje (powiązania). Taka ogólna definicja leży u podstaw metody DEMATEL, która zostanie omówiona po metodzie ANP. W przypadku metod wielokryterialnych, takich jak ANP, pojęcie systemu zawęża się do istotnych elementów modelu decyzyjnego: cel główny (kryterium kontrolne), kryteria i warianty decyzyjne. W metodzie ANP występuje ponadto struktura hierarchiczna, która polega na tym, że merytorycznie bliskie sobie elementy systemu połączone są w podsystemy. Autor metody ANP – T.L. Saaty – nazywa te podsystemy „klastrami” (*clusters*) lub „komponentami” (*components*), a cały system „siecią” (*network*). Jako przykłady mogą służyć: powiązanie w jeden klaster kryteriów o jednolitym charakterze, np. związanych z finansami, klaster zawierający warianty decyzyjne. Krótki opis metody ANP, umieszczony poniżej, został sformułowany na podstawie monografii Saaty’ego zatytułowanej „Theory and Applications of the Analytic Network Process” [Saaty 2005].

Punktem wyjścia metody ANP jest *kryterium kontrolne*, które reprezentuje ogólny cel analizy zależności w badanym systemie. Przyjmijmy, że system obejmuje N klastrow, które oznaczymy C_h , $h = 1, \dots, N$. Każdy klaster zawiera n_h elementów, oznaczonych $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{hn_h}$. Wzajemne oddziaływania składowych elementów systemu opisuje supermacierz W , której wyrazami są macierze W_{ij} :

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{bmatrix}, W_{ij} = \begin{bmatrix} w_{11}^{ij} & w_{12}^{ij} & \dots & w_{1n_j}^{ij} \\ w_{21}^{ij} & w_{22}^{ij} & \dots & w_{2n_j}^{ij} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{n_i1}^{ij} & w_{n_i2}^{ij} & \dots & w_{n_i n_j}^{ij} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Macierz W_{ij} zawiera informację o wpływie elementów z klastra i na elementy z klastra j . Przepis na obliczenie wyrazów macierzy W_{ij} wywodzi się z metody AHP. Wybieramy element p_j z klastra j , a następnie porównujemy parami siłę wpływu elementów z klastra i na element p_j . Do porównań można użyć dowolnej skali, np. rekomendowanej przez T.L. Saaty'ego skali 9-stopniowej. Powstaje w ten sposób macierz porównań parami, z której wyprowadza się wektor skali. Składowymi wektora skali są znormalizowane wartości określające względny wpływ elementów z klastra i na wybrany element p_j z klastra j ¹. Wektor ten tworzy p_j kolumnę macierzy W_{ij} .

W analogiczny sposób ocenia się wpływy poszczególnych klastrów na siebie względem rozpatrywanego kryterium kontrolnego. Klastry, które nie mają wpływu na wybrany klaster j , tzn. takie, dla których $W_{ij} = 0$, nie są uwzględniane w tworzeniu macierzy porównań. Dla pozostałych klastrów uzyskuje się wektor skali. Składową i otrzymanego wektora należy przemnożyć przez wszystkie elementy macierzy W_{ij} . Po tej operacji supermacierz staje się macierzą stochastyczną, tzn. jej kolumny sumują się do jedności. Dzięki temu, w przypadku granicznym $\lim_{n \rightarrow \infty} W^n$ (w praktyce przez podniesienie W do odpowiednio wysokiej potęgi), uzyskuje się wektor skali dla badanych elementów systemu, np. wariantów decyzyjnych.

4. Metoda DEMATEL

Metoda DEMATEL (*decision-making trial and evaluation laboratory*) powstała w celu modelowania i analizy zależności przyczynowych w złożonych systemach [Gabus, Fontela 1973; Fontela, Gabus 1976]. Metoda ta uzyskała znaczną popularność w analizie problemów zarządzania (np. [Hori, Shimizu 1999; Wu, Lee 2007; Zhou i in. 2011]), w szczególności w analizie wielokryterialnej (np. [Wu 2008; Yang i in. 2008; Chen i in. 2010]).

Na podstawie wypowiedzi ekspertów wyznacza się wpływ poszczególnych elementów na inne elementy w badanym systemie. Siłę wpływu określa się za pomocą 5-stopniowej skali: 0 – brak wpływu, 1 – słaby wpływ, 2 – średni wpływ, 3 – silny wpływ, 4 – bardzo silny wpływ. Uzyskane wartości umieszcza się w kwadratowej macierzy, nazywanej *macierzą bezpośrednich wpływów* o rozmiarach $N \times N$, gdzie N – liczba elementów systemu. Wyraz w i -tym wierszu i j -tej kolumnie tej macierzy

¹ Szczegółowy opis metody AHP można znaleźć np. w monografii pod red. T. Trzaskalika [Trzaskalik (red.) 2006, s. 66–70].

określa wpływ i -tego elementu na j -ty element systemu. Przy czym – z założenia – wpływ elementu na samego siebie jest zerowy, tzn. na przekątnej macierzy występują same zera.

Macierz bezpośrednich wpływów, którą oznaczymy literą D , należy następnie znormalizować w następujący sposób:

$$M = \frac{1}{s} D, \quad (2)$$

gdzie M – znormalizowana macierz wpływów, a czynnik normalizacyjny s określony jest formułą

$$s = \max_i \sum_{j=1}^N d_{ij}. \quad (3)$$

Znormalizowana macierz M ma następującą własność:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} M^k = [0]_{N \times N}, \quad (4)$$

gdzie $[0]_{N \times N}$ jest macierzą zerową o rozmiarach $N \times N$.

Dzięki powyższej własności określona jest granica

$$T = \sum_{k=1}^{\infty} M^k = M(I - M)^{-1}, \quad (5)$$

która definiuje *pełną macierz wpływów* T . Wyraz t_{ij} macierzy T opisuje sumaryczny wpływ elementu i na element j , uwzględniający wszystkie możliwe wpływy pośrednie – poprzez inne elementy systemu.

W następnym kroku tworzy się wektor R , którego składowymi są sumy wyrazów z wierszy macierzy T :

$$[R]_i = r_i = \sum_{k=1}^N t_{ik}. \quad (6)$$

i -ta składowa wektora R jest miarą łącznego wpływ elementu i na wszystkie elementy systemu. Podobnie tworzy się wektor C , którego składowymi są sumy wyrazów z kolumn macierzy T :

$$[C]_j = c_j = \sum_{k=1}^N t_{kj}, \quad (7)$$

j -ta składowa wektora C pokazuje łączny wpływ wszystkich elementów na j -ty element. Wektory R i C służą do zdefiniowania dwóch podstawowych wskaźników, charakterystycznych dla metody DEMATEL: *wskaźnika znaczenia* $R+C$ i *wskaźnika relacji* $R-C$. Wskaźnik znaczenia wyraża liczbową miarę znaczenia elementu

w systemie. Wskaźnik relacji wyróżnia elementy systemu, dla których $R-C$ jest dodatnie – są to elementy, które silniej oddziałują na inne elementy systemu, niż ulegają ich wpływowi. Przeciwny charakter mają elementy, dla których $R-C$ jest ujemne. Pozycję poszczególnych elementów w systemie można zobrazować na dwuwymiarowym wykresie, nazywanym „mapą znaczenia-relacji” (*impact-relation map*), na którym na osi poziomej nanosi się wartości wskaźnika znaczenia, a na pionowej wartości wskaźnika relacji.

5. Wielokryterialny model podejmowania decyzji w zarządzaniu innowacjami

Analiza kryteriów w zarządzaniu innowacjami, której wyniki zostały powyżej przedstawione, wskazuje na potrzebę uwzględnienia wielu kryteriów o znacząco różnym charakterze. Biorąc pod uwagę ich logiczne powiązania, można wyróżnić pięć grup, które obejmują kryteria: strategiczne, finansowe, techniczne, organizacyjne i rynkowe.

Zwykle, w celu uproszczenia procesu decyzyjnego, przyjmuje się postulat niezależności poszczególnych elementów systemu, zwłaszcza niezależności kryteriów od siebie i niezależności poszczególnych wariantów decyzyjnych. Na tym postulacie opiera się wiele popularnych metod wielokryterialnych, jak np. AHP, BIPOLAR, ELECTRE, PROMETHEE, SMART, TOPSIS. Jednakże w wielu przypadkach nie jest możliwe pominięcie wzajemnych oddziaływań pomiędzy kryteriami. Czasami konieczne okazuje się również uwzględnienie wariantów, które nie są zupełnie niezależne od siebie.

W odniesieniu do zarządzania innowacjami już na pierwszy rzut oka można założyć, że kryteria finansowe są w znacznym stopniu zależne od kryteriów z pozostałych grup, tzn. kryteriów technicznych, organizacyjnych i rynkowych. Ekspertów zaangażowanych w proces decyzyjny mogą oczywiście dopatrzeć się również innych powiązań, które uznają za ważne. Generalizując, można postawić tezę, że liczba i siła oddziaływań (powiązań) pomiędzy elementami systemu nawet w warstwie obiektywnej nie będzie mieć charakteru uniwersalnego. Dodatkowo struktura modelu oraz jego zawartość będą zależały od subiektywnych ocen podmiotów biorących udział w procesie decyzyjnym.

Poniżej przedstawiono przykład wielokryterialnego modelu decyzyjnego w zarządzaniu innowacjami. Następnie do modelu tego zastosowano dwie metody, które uwzględniają oddziaływania elementów modelu: ANP i DEMATEL.

Przykładowy model uwzględnia wszystkie wymienione wcześniej grupy kryteriów. Do każdej z nich wybrana została niewielka liczba reprezentatywnych składników. Struktura kryteriów przedstawiona została w tab. 1. Numeracja w tab. 1 odnosi się do metody ANP. Numery grup (odpowiadają klastrom w nomenklaturze ANP) określają jednocześnie wskaźniki macierzy W_{ij} , będących składnikami supermacierzy. Numery kryteriów oznaczają numer wiersza (kolumny) przypisany danemu

kryterium w macierzy W_{ij} . Klaster wariantów ma przypisany wskaźnik 6, a numery większy (kolumn) odpowiadają numerom wariantów.

W analizowanym przykładzie rolę wariantów decyzyjnych odgrywają trzy projekty innowacji, oznaczone P1, P2 i P3. Projekt P1 charakteryzuje się niewielką innowacyjnością i jest kontynuacją obecnej linii produktowej firmy. W związku z tym będzie miał raczej krótki czas życia, nie przyniesie wysokiej satysfakcji klientom, a reakcja konkurencji może być znaczna i szybka. Projekt ten nie powinien również stwarzać kłopotów organizacyjnych. Z punktu widzenia efektów finansowych projekt P1 ma niską wartość NPV oraz średni poziom ryzyka finansowego.

Projekt P2 ma średni poziom innowacyjności. Wymaga przeprowadzenia dodatkowych badań, ale dział badawczo-rozwojowy jest do nich przygotowany. Projekt ten wymaga także niewielkich zmian w procesie technologicznym. Ze względu na odmienność projektu P2 od dotychczasowego profilu firmy potrzebne będą również niewielkie zmiany w zakresie organizacji marketingu i logistyki. Można się spodziewać niewielkiego lub średniego poziomu satysfakcji klientów oraz dosyć silnej reakcji konkurencji. Czas życia może być dłuższy niż w przypadku projektu P1. Charakterystyka finansowa: średnia wartość NPV i średnie ryzyko.

Tabela 1. Struktura kryteriów w przykładowym modelu (numeracja odnosi się do metody ANP)

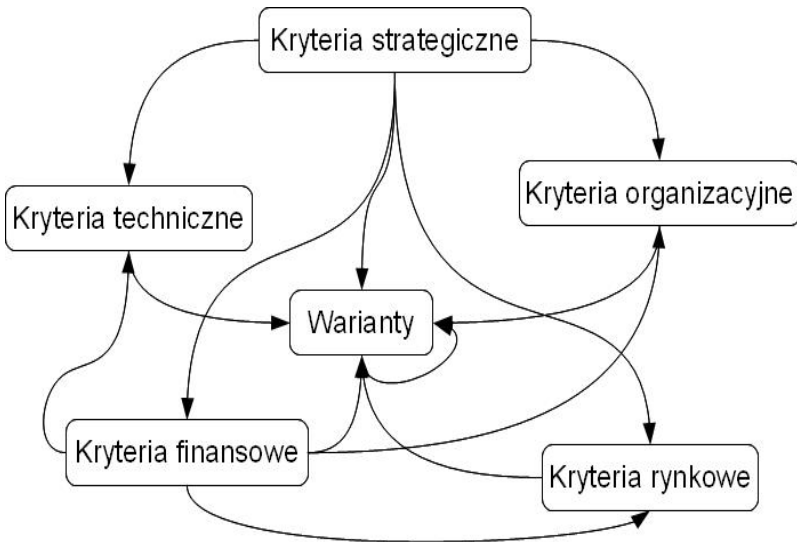
Grupa kryteriów	Kryteria składowe
1. Kryteria strategiczne	1. Pozycja lidera w linii produkcyjnej 2. Wzmocnienie pozycji konkurencyjnej
2. Kryteria techniczne	1. Kompetencje technologiczne 2. Potencjał badawczo-rozwojowy
3. Kryteria finansowe	1. NPV 2. Ryzyko finansowe
4. Kryteria rynkowe	1. Etap cyklu życia produktu 2. Reakcja konkurencji 3. Satysfakcja klienta
5. Kryteria organizacyjne	1. Kompetencje logistyczne 2. Kompetencje marketingowe

Źródło: opracowanie własne.

Ostatni projekt – P3 jest znaczącą innowacją, w związku z czym wymaga znacznych nakładów na badania i rozwój, a także dopasowania kompetencji technologicznych. Również od strony organizacyjnej projekt ten będzie wymagał największych zmian. Powinien mieć długi czas życia i przynieść znaczną satysfakcję klientom. Ze względu na znaczny zakres innowacyjności reakcja konkurencji może być słaba i opóźniona. Projekt może dać wysoką wartość NPV, ale jednocześnie charakteryzuje się wysokim ryzykiem finansowym.

5.1. Zastosowanie metody ANP

Strukturę modelu ANP przedstawia rys. 1. Powiązania pomiędzy elementami tej struktury reprezentowane są przez łuki. Początek łuku znajduje się w klastrze, którego element jest „rodzicem” (*parent node*), a koniec w klastrze, w którym znajdują się elementy potomne (*children nodes*). Należy dokonać porównań elementów potomnych z punktu widzenia elementu rodzicielskiego, czyli określić względne wpływy poszczególnych elementów potomnych na element rodzicielski². Po obliczeniach uzyskuje się wektor skali, który jest wprowadzany w odpowiednie miejsce supermacierzy (kolumna elementu rodzicielskiego, wiersze odpowiadające elementom potomnym).



Rys. 1. Struktura powiązań w modelu ANP

Źródło: opracowanie własne.

Poniżej przedstawione są niezerowe macierze W_{ij} (wartości zostały zaokrąglone do 2 miejsc dziesiętnych).

$$W_{21} = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,5 \\ 0,2 & 0,5 \end{bmatrix}, W_{31} = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 \end{bmatrix}, W_{41} = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,26 \\ 0,2 & 0,16 \\ 0,2 & 0,58 \end{bmatrix}, W_{51} = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,25 \\ 0,2 & 0,75 \end{bmatrix},$$

² Dopuszcza się też odwrotną interpretację, tzn. dokonywanie porównań pomiędzy elementami potomnymi pod względem wpływu, jaki ma na nie element rodzicielski. Oczywiście przyjęta interpretacja musi być konsekwentnie stosowana w całym modelu (instrukcja do Superdecisions [ANP Team]).

$$\begin{aligned}
 W_{61} &= \begin{bmatrix} 0,5 & 0,11 \\ 0,35 & 0,27 \\ 0,15 & 0,62 \end{bmatrix}, W_{62} = \begin{bmatrix} 0,64 & 0,1 \\ 0,28 & 0,26 \\ 0,08 & 0,64 \end{bmatrix}, W_{23} = \begin{bmatrix} 0,33 & 0,25 \\ 0,67 & 0,75 \end{bmatrix}, \\
 W_{43} &= \begin{bmatrix} 0,28 & 0,2 \\ 0,14 & 0,35 \\ 0,58 & 0,45 \end{bmatrix}, \\
 W_{33} &= \begin{bmatrix} 0,5 & 0,2 \\ 0,5 & 0,8 \end{bmatrix}, W_{63} = \begin{bmatrix} 0,07 & 0,15 \\ 0,23 & 0,15 \\ 0,7 & 0,7 \end{bmatrix}, W_{64} = \begin{bmatrix} 0,07 & 0,15 & 0,14 \\ 0,23 & 0,15 & 0,13 \\ 0,7 & 0,7 & 0,73 \end{bmatrix}, \\
 W_{65} &= \begin{bmatrix} 0,69 & 0,44 \\ 0,16 & 0,29 \\ 0,15 & 0,27 \end{bmatrix}, \\
 W_{66} &= \begin{bmatrix} 0 & 0,8 & 0,83 \\ 0,17 & 0 & 0,17 \\ 0,83 & 0,2 & 0 \end{bmatrix}. \tag{8}
 \end{aligned}$$

Obliczenia zostały wykonane za pomocą pakietu oprogramowania Superdecisions [ANP Team]. W granicznej postaci supermacierzy składowe wektora skali dla wariantów przyjęły następujące wartości: 0,45; 0,14; 0,41. Na pierwszym miejscu uplasował się wariant P1. Niewiele gorszą ocenę syntetyczną uzyskał wariant P3. Najslabiej wypadł wariant P2. Jeżeli pozwolą na to możliwości finansowe i techniczne, firma powinna zastanowić się nad realizacją obydwóch projektów: P1 i P3. Jeżeli jednak takich możliwości nie ma, niewielka różnica wyników projektów wskazuje, że aby wybrać tylko jeden z nich, trzeba przeprowadzić dokładniejszą analizę tych wariantów.

5.2. Zastosowanie metody DEMATEL

Wartości oceniające wzajemne wpływy poszczególnych elementów systemu umieszczono w tab. 2. Korespondują one z ocenami z metody ANP. W szczególności wstawiono zerowe wartości ocen w tych miejscach, w których występowały one w metodzie ANP.

Wyniki obliczeń metody DEMATEL przedstawiono w tab. 3. Wybrane elementy systemu, o najbardziej znaczących wartościach wskaźników znaczenia i relacji, ukazuje rys. 2. Ze względu na wskaźnik znaczenia najsilniejszą pozycję uzyskał wariant P3, tuż za nim uplasował się wariant P1. Wariant P2, podobnie jak w metodzie ANP, ma wyraźnie słabszą pozycję. Nie są zaskoczeniem wysokie wartości wskaźnika znaczenia w przypadku kryteriów strategicznych. Wynikają one w znacznej mierze

z silnego wpływu na kryteria strategiczne ze strony innych elementów systemu (duże ujemne wartości wskaźnika relacji).

Tabela 2. Oceny wpływów (macierz D metody DEMATEL) dla przykładowego modelu

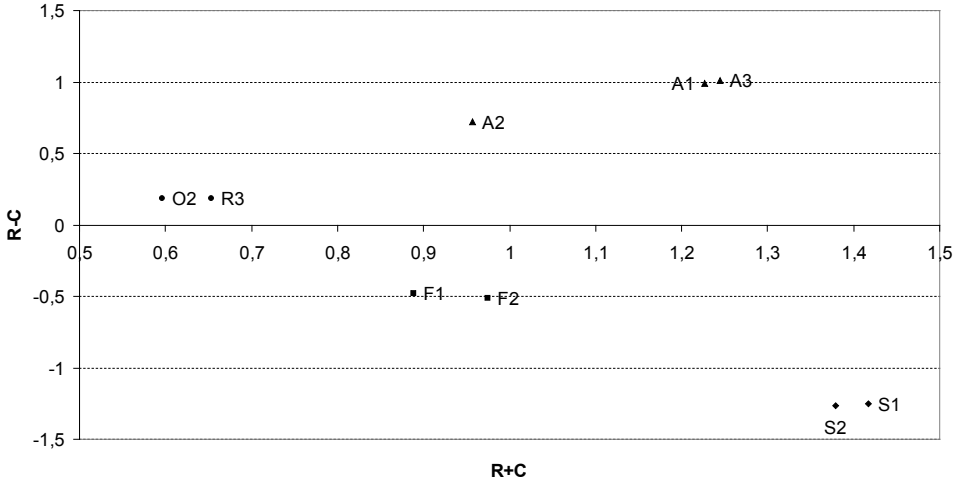
		S1	S2	T1	T2	F1	F2	R1	R2	R3	O1	O2	A1	A2	A3
Wzmocnienie pozycji konkur.	S1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pozycja lidera w linii prod.	S2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompet. technol.	T1	3	4	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Pot. bad.-rozw.	T2	4	3	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0
NPV	F1	3	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Ryzyko fin.	F2	3	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Etap cyklu życia prod.	R1	2	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Reakcja konkurencji	R2	4	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Satysfakcja klienta	R3	4	4	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompet. logistyczne	O1	3	3	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Kompet. marketingowe	O2	4	3	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	A1	1	3	3	1	1	3	1	2	2	4	3	0	3	3
P2	A2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	0	1
P3	A3	3	0	1	3	3	1	4	4	4	2	2	3	1	0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 3. Wskaźniki znaczenia (R+C) i wskaźniki relacji (R-C) dla przykładowego modelu

		R+C	R-C
Wzmocnienie pozycji konkur.	S1	1,42	-1,25
Pozycja lidera w linii produkcyjnej	S2	1,38	-1,27
Kompetencje technologiczne	T1	0,44	0,08
Pot. bad.-rozw.	T2	0,53	0,18
NPV	F1	0,89	-0,48
Ryzyko fin.	F2	0,98	-0,51
Etap cyklu życia prod.	R1	0,44	0,03
Reakcja konkurencji	R2	0,56	0,09
Satysfakcja klienta	R3	0,65	0,18
Kompet. logistyczne	O1	0,50	0,03
Kompet. marketingowe	O2	0,60	0,18
P1	A1	1,23	0,99
P2	A2	0,96	0,72
P3	A3	1,24	1,01

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Wykres R+C/R-C (mapa znaczenia-relacji) dla przykładowego modelu (na wykresie zaznaczono część elementów systemu o najsilniejszych powiązaniach)

Źródło: opracowanie własne.

6. Podsumowanie

W modelu DEMATEL użyto danych, które korespondują z ocenami modelu ANP. Jak widać, podobna struktura i wartości ocen prowadzą w obu modelach do zbliżonych wyników. Za tym, że wniosek ten ma ogólny charakter, przemawiają argumenty odnoszące się do sposobu uzyskiwania wartości wyjściowych. W obu metodach głównym elementem procedury jest podobny mechanizm algebraiczny. Wartości ocen na wejściu wprowadzane są do macierzy. Suma wszystkich potęg tej macierzy (w sensie granicznym) daje wartości wyjściowe modelu. Z punktu widzenia teorii grafów w obu metodach badany system reprezentowany jest przez graf skierowany, w którym wierzchołkom odpowiadają elementy systemu, a łukom oddziaływania pomiędzy elementami. Wyraz (i, j) w n potędze macierzy zawiera iloczyn ocen wejściowych dla wszystkich możliwych dróg o długości n łączących wierzchołki i i j , a więc określa pośredni wpływ elementu i na element j . Suma wszystkich potęg obejmuje więc pośrednie wpływy dla wszystkich możliwych dróg o dowolnej długości.

Z drugiej strony, w metodach ANP i DEMATEL występują istotne różnice. W metodzie DEMATEL występuje niezróżnicowana, jednopoziomowa struktura, a ANP – w najprostszym wariantcie – obejmuje dwa poziomy: klastry i ich elementy składowe. Nie bez znaczenia są też różnice w sformułowaniu pytań, na jakie musi odpowiedzieć decydent w fazie wprowadzania ocen do modelu. Na wyniki końcowe mają też wpływ techniczne różnice: sposób normalizacji macierzy przed procedurą potęgowania oraz skala ocen i jej werbalne odpowiedniki.

Ocena, która z metod lepiej nadaje się do analizy problemów decyzyjnych, w szczególności związanych z zarządzaniem innowacjami, ma oczywiście charakter subiektywny, jakkolwiek można pokusić się o ich porównanie z punktu widzenia użytkownika. Ponieważ obie metody mają podobne własności formalne, prowadzące do podobnych wyników, na pierwszy plan wysuwają się cechy użytkowe. W tym zakresie istotnym kryterium są wymagania metody w stosunku do decydenta, czyli ilość i jakość informacji, które trzeba wprowadzić do modelu. Pod tym względem DEMATEL wydaje się metodą mniej wymagającą, ponieważ oceny wpływów określone są w sposób bezpośredni. Natomiast w ANP uzyskanie tych wartości wymaga dokonania porównań parami elementów z wybranego klastra, pod względem ich wpływu na wybrany element. Dodatkowo należy dokonać porównań parami klastrów, aby uzyskać ich wagi. Jako kontrargument można przytoczyć zdanie autora metody ANP, który twierdzi, że dokonywanie ocen przez porównania jest fundamentalną cechą ludzkiego umysłu, a więc lepiej odtwarza strukturę preferencji człowieka [Saaty 2005, s. 1–2].

Nie bez znaczenia są też techniczne możliwości realizacji obliczeń. W przypadku ANP, chociaż formalnie możliwe z użyciem arkusza kalkulacyjnego, samodzielne obliczenia są bardziej kłopotliwe. Różne struktury modelu skutkują różnymi własnościami supermacierzy, która inaczej zachowuje się w przypadku granicznym. Te różne przypadki wymagają różnego potraktowania w dalszej fazie algorytmu. Wyjściem jest zastosowanie specjalistycznego oprogramowania, dostępnego również w wersji niekomercyjnej [ANP Team]. W przeciwieństwie do ANP, metodę DEMATEL można bardzo łatwo zrealizować w arkuszu kalkulacyjnym, wykorzystując jedynie elementarne działania na macierzach.

Literatura

- ANP Team, *SuperDecisions*, www.superdecisions.com (ostatni dostęp 30.03.2012).
- Calantone R.J., Benedetto C.A., Schmidt J.B. [1999], *Using the analytic hierarchy process in new product screening*, "An International Publication of The Product Development & Management Association" 16, no. 1, s. 65–76.
- Chen Y.C., Lien H.P., Tzeng G.H. [2010], *Measures and evaluation for environment watershed plans using a novel hybrid MCDM model*, "Expert Systems with Applications" 37, no. 2 (marzec), s. 926–938, doi:10.1016/j.eswa.2009.04.068.
- Englund R.L., Graham R.J. [1999], *From experience: linking projects to strategy*, "Journal of Product Innovation Management" 16, no. 1, s. 52–64.
- Fontela E., Gabus A. [1976], *The DEMATEL Observer*, DEMATEL 1976, Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
- Gabus A., Fontela E. [1973], *Perceptions of the world problematic: Communication procedure, communicating with those bearing collective responsibility*, DEMATEL, Battelle Geneva Research Centre, Geneva, Switzerland.
- Hori S., Shimizu Y. [1999], *Designing methods of human interface for supervisory control systems*, "Control Engineering Practice" 7, no. 11, s. 1413–1419.
- Jasiński A.H. [2006], *Innowacje i transfer techniki w procesie transformacji*, Difin, Warszawa.

- Linton J.D., Walsh S.T., Kirchoff B.A., Morabito J., Merges M. [2000], *Selection of R&D projects in a portfolio*, "Engineering Management Society, 2000. Proceedings of the 2000 IEEE", s. 506–511.
- Michnik J. [2010], *Analiza kryteriów występujących w procesie decyzyjnym w zarządzaniu innowacjami*, [w:] *Modelowanie preferencji a ryzyko '10*, red. T. Trzaskalik, Wyd. AE Katowice, Katowice, s. 107–117.
- Saaty T.L. [2005], *Theory and Applications of the Analytic Network Process. Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs and Risks*, RWS Publications, Pittsburgh.
- Trzaskalik T. (red.) [2006], *Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym*, PWE, Warszawa.
- Westland J.Ch. [2008], *Global Innovation Management*, Palgrave, Macmillan.
- Wu W.W. [2008], *Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach*, "Expert Systems with Applications" 35, no. 3 (październik), s. 828–835, doi:10.1016/j.eswa.2007.07.025.
- Wu W.W., Lee Y.T. [2007], *Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method*, "Expert Systems with Applications" 32, no. 2 (luty), s. 499–507, doi:10.1016/j.eswa.2005.12.005.
- Yang Y.P.O., Shieh H.M., Leu J.D., Tzeng G.H. [2008], *A novel hybrid MCDM model combined with DEMATEL and ANP with applications*, "International Journal Operational Research" 5, no. 3, s. 160–168.
- Zhou Q., Huang W., Zhang Y. [2011], *Identifying critical success factors in emergency management using a fuzzy DEMATEL method*, "Safety Science" 49, no. 2, s. 243–252.

DEPENDENCE AMONG CRITERIA IN MULTIPLE CRITERIA MODELS OF INNOVATION MANAGEMENT

Summary: Innovation management is a continuous and complicated process that pertains to the majority of firm's activities and engages the significant part of firm's resources. The numerous criteria of various nature and position are involved in the decision making for innovation management. All these make the innovation management the kind of problem in which interrelations between criteria become important and the independence assumption which is common for many popular multiple criteria methods is not valid. The paper presents the potential multiple criteria decision making model with several interrelations between its components. Two methods – ANP and DEMATEL – have been used to solve the model. The similarities and differences between the two methods and their practical applicability have been also discussed.

Keywords: ANP, DEMATEL, multiple criteria decision making, innovation management.