

**ZASTOSOWANIE METODY ELECTRE TRI
DO OCENY ZRÓŻNICOWANIA REGIONALNEGO POLSKI
POD WZGLĘDEM WYPOSAŻENIA
W NOWOCZESNE TECHNOLOGIE ICT W 2011 ROKU**

Aneta Becker

Katedra Zastosowań Matematyki w Ekonomii
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
e-mail: aneta.becker@zut.edu.pl

Streszczenie: Celem artykułu jest ocena zróżnicowania regionalnego Polski pod względem wyposażenia przedsiębiorstw w nowoczesne technologie ICT, w 2011 roku. W badaniach zastosowano metodę ELECTRE TRI opartą na modelu preferencji w postaci relacji przewyższania. Relacje te są określone na podstawie posiadanych informacji i reprezentują ściśle określone preferencje decydenta. Poza tym model ten nie narzuca przechodniości preferencji i dopuszcza sytuację nieporównywalności.

Słowa kluczowe: technologie teleinformatyczne (ICT), klasyfikacja, relacja przewyższania, metoda ELECTRE TRI

WSTĘP

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat rozwinęły się w nauce o podejmowaniu decyzji kierunki, które przyczyniły się do utworzenia europejskiej (francuskiej) szkoły podejmowania decyzji. Jej prekursorem jest prof. Bernard Roy [Dias, Mousseau 2003]. Badania prowadzone przez uczonych tej szkoły doprowadziły do opracowania nowej metodologii podejmowania decyzji oraz skonstruowania szeregu metod wielokryterialnych, wśród nich rodzinę metod ELECTRE, znajdujących szerokie zastosowanie w różnorodnych problemach decyzyjnych [Merad i in. 2004].

Można wyróżnić następujące problemy wielokryterialnego wspomaganie decyzji, w których mają zastosowanie metody ELECTRE:

- wybór – wybór najlepszych (wyróżniających się) wariantów decyzyjnych, z punktu widzenia zbioru kryteriów,
- porządkowanie (rankingowanie) – uszeregowanie wszystkich wariantów od najlepszego do najgorszego, z punktu widzenia zbioru kryteriów,
- klasyfikację (sortowanie) – podział zbioru wariantów na klasy (kategorie), uporządkowane między sobą pod względem preferencji.[Merad i in. 2004; Trzaskalik 2006]

Wśród szerokiej gamy wielokryterialnych metod wspomaganie decyzji metodą, która została specjalnie zaprojektowana do rozwiązywania zadań klasyfikacyjnych jest ELECTRE TRI. Podobnie jak cała rodzina metod ELECTRE opiera się ona na relacji przewyższania S . Wspomniana relacja jest binarna i mówi, że wariant a przewyższa wariant b (aSb), jeżeli biorąc pod uwagę dostępne informacje dotyczące preferencji decydenta, istnieją wyraźne przesłanki, żeby stwierdzić, iż wariant a jest co najmniej tak dobry jak wariant b i nie istnieją żadne istotne powody, aby stwierdzenie to odrzucić [Roy 1991; La Gauffre i in. 2007; Roy i Słowiński 2008; Figueira i in. 2009]. Należy nadmienić, że na temat preferencji, które jest podstawowym pojęciem w teorii ekonomii, szczególnie mikroekonomii (teorii wyboru konsumenta) odzwierciedlającym gusty konsumenta i pozwalającym dokonywać wyborów spośród rozmaitych alternatyw, obszernie pisze w swojej pracy między innymi E. Panek [2003].

Celem artykułu jest klasyfikacja województw Polski ze względu na poziom wykorzystania technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych (ICT – ang. *Information and Communication Technologies*) w przedsiębiorstwach. Informacje statystyczne wykorzystane w artykule pochodzą z GUS (Głównego Urzędu Statystycznego) i obejmują materiał z 2011 r. w ujęciu regionalnym. W badaniach klasyfikacyjnych zastosowano metodę wielokryterialnego wspomaganie decyzji ELECTRE TRI. Wyniki grupowania mają na celu wyodrębnić obszary charakteryzujących się zbliżoną intensywnością korzystania z nowoczesnych rozwiązań teleinformatycznych, czyli technologii przetwarzających, gromadzących i przesyłających informacje w formie elektronicznej. W artykule weryfikuje się pogląd, że województwa wyróżniające się potencjałem rozwojowym w dużym stopniu wykorzystują technologie informacyjne i komunikacyjne.

METODA WIELOKRYTERIALNEGO WSPOMAGANIA DECYZJI OPARTA NA RELACJI PRZEWYŻSZANIA

Przykładem metody wspomaganie decyzji, którą można stosować do zagadnień klasyfikacyjnych jest metoda ELECTRE TRI [Doumpos, Zopounidis 2002; La Gauffre i in. 2007]. Procedura koncentruje się na tzw. profilach separujących od siebie klasy. Każdy wariant decyzyjny (obiekt) można opisać ze względu na jego wartości na kryteriach (cechach). Danymi wejściowymi w metodzie ELECTRE TRI są wagi kryteriów oraz progi: nierozróżnialności, preferencji i weta. Należy

również podać liczbę klas i określić ich granice, czyli profile separujące. Działanie procedury obliczeniowej opiera się na wykonywaniu szeregu testów (zgodności i niezgodności) [La Gauffre i in. 2007; Roy i Słowiński 2008]. W metodzie tej dokonuje się porównań każdego wariantu decyzyjnego ze wszystkimi profilami separującymi klasy. W wyniku tych działań otrzymuje się szereg hipotez, na podstawie których podejmowana jest decyzja czy wariant przewyższa dane profile czy też nie. [Doumpos, Zopounidis 2002; Dias, Mousseau 2003; Merad i in. 2004].

W metodzie ELECTRE TRI umieszczanie obiektów w poszczególnych klasach następuje według dwóch komplementarnych procedur: optymistycznej i pesymistycznej. Klasyfikacja dokonywana jest na podstawie znajomości relacji przewyższania S dla każdej uporządkowanej pary (a, b_h) , gdzie: a ($a = a_1, a_2, \dots, a_n$) jest wariantem decyzyjnym, a b_h profilem będącym górną granicą klasy (kategorii) C_h i dolną granicą klasy C_{h+1} , $h = 1, 2, \dots, p$. Procedura optymistyczna polega na porównaniu wariantu a kolejno z profilami b_h ($h = 1, 2, \dots, p-1, p$), rozpoczynając od profilu najniższego (b_1). Jeśli b_h jest pierwszym napotkanym profilem takim, że $b_h Pa$ (co oznacza, że b_h jest preferowany nad a), to a zostaje przydzielone do klasy C_h . Z kolei w procedurze pesymistycznej następuje porównanie a kolejno z profilami b_h ($h = p, p-1, \dots, 1, 0$), począwszy od profilu najwyższego (b_p). Jeśli b_h jest pierwszym napotkanym profilem takim, że aSb_h , to a zostaje przydzielone do klasy C_{h+1} ($h = 1, 2, \dots, p$) [La Gauffre i in. 2007; Doumpos, Zopounidis 2002].

MATERIAŁ EMPIRYCZNY

W marcu 2012 r. Główny Urząd Statystyczny (GUS) opublikował wyniki badań przeprowadzonych w ramach statystyki społeczeństwa informacyjnego w Polsce. Badania te zostały zrealizowane w kwietniu 2011 r. i obejmowały główne obszary wykorzystania technologii informacyjnych i (tele)komunikacyjnych w przedsiębiorstwach i gospodarstwach domowych. W przypadku pomiarów dotyczących podmiotów gospodarczych, reprezentatywna próba liczyła około 14 tysięcy przedsiębiorstw, w których liczba pracujących wynosiła co najmniej 10, a prowadzona działalność gospodarcza zaklasyfikowana była według Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD) do następujących sekcji: C – przetwórstwo przemysłowe, F – budownictwo, G – handel hurtowy i detaliczny, naprawa pojazdów samochodowych włączając motocykle, H – transport i gospodarka magazynowa, I – działalność związana z zakwaterowaniem i usługami gastronomicznymi, J – informacja i komunikacja, L – działalność związana z obsługą rynku nieruchomości, M – działalność profesjonalna, naukowa i techniczna. [Wykorzystanie technologii 2012]

W analizowanym roku wśród podmiotów biorących udział w badaniu dominowały małe firmy (10-49 pracujących), które stanowiły nieco ponad 80% ogółu. Do grupy średnich przedsiębiorstw o liczbie pracujących od 50 do 249 osób należało 16,51% podmiotów. Natomiast najniższy odsetek firm reprezentowały duże przedsiębiorstwa, w których liczba pracujących wynosiła powyżej 250 osób – 3,32%. Najwięcej przedsiębiorstw, w stosunku do wszystkich badanych, pochodziło z województw: mazowieckiego (17%), śląskiego (12,69%) i wielkopolskiego (11,10%). Natomiast najmniej firm reprezentowało województwa: podlaskie (2,23%), opolskie (2,29%) i świętokrzyskie (2,56%). W układzie regionalnym NUTS-1 największy udział w badaniach miały firmy pochodzące z regionu centralnego (województwa: łódzkie i mazowieckie) – 23,76%, natomiast najmniejszy podmioty regionu południowo-zachodniego (województwa: dolnośląskie i opolskie), które stanowiły prawie 10% ogółu.

Według prezentowanych przez GUS informacji nieco ponad 97% firm, które brały udział w badaniu korzystało z komputerów. Dostęp do Internetu deklarowało prawie 94%, przy czym 77,5% spośród nich poprzez łącza szerokopasmowe, natomiast prawie 21% za pomocą wąskopasmowych łączy bezprzewodowych. Dominowały podmioty (94%) posiadające dostęp do Internetu łączami o prędkości od 2 do 10 Mb/s. Z bezpłatnego oprogramowania *open source* korzystało 78% badanych podmiotów. W tym z bezpłatnych aplikacji ERP lub CRM nieco ponad 7%, natomiast prawie 21% z systemów operacyjnych (np. Linux). Najpopularniejsze były przeglądarki internetowe oraz aplikacje biurowe.

Spośród firm z dostępem do Internetu, prawie 65% posiadało własną stronę internetową. Podmioty gospodarcze najczęściej korzystały ze strony internetowej, aby zaprezentować katalogi wyrobów lub cenniki swoich towarów bądź usług (46,9%) i zapewnić ochronę danych osobowych lub do homologacji bezpieczeństwa (30,6%). Najrzadszą funkcją strony była personalizacja jej zawartości dla stałych użytkowników (8,1%) oraz sprawdzanie stanu realizacji zamówienia online (9,3%).

Nieznacznie ponad 66% firm korzystało z automatycznej wymiany danych z podmiotami zewnętrznymi. Na ogół w celu wymiany informacji z organami administracji publicznej (64,3%), rzadziej po to, aby wysłać lub otrzymywać dokumenty transportowe (np. listy przewozowe) – 17%. Natomiast z automatycznej wymiany informacji wewnątrz przedsiębiorstwa korzystało 34,5% podmiotów, głównie w księgowości, sporadycznie w zarządzaniu dystrybucją. Z kolei 30,5% firm otrzymywało lub wysyłało e-faktury. Najbardziej rozpowszechnioną formą były e-faktury nienadające się do automatycznego przetwarzania np. e-mail z załącznikiem w formacie PDF. Według informacji GUS w 2011 r. blisko jedna trzecia przedsiębiorstw stosowała procedury, których celem było ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko. Działania te dotyczyły zwłaszcza redukcji zużycia energii pochłanianej przez wyposażenie ICT – 24,6% oraz zużycia papieru – 23% podmiotów.

WYNIKI BADAŃ

W badaniach klasyfikacyjnych posłużono się materiałem empirycznym, zebrany i opublikowany przez GUS [Wykorzystanie technologii 2012]. W doświadczeniu brała udział odmienna liczba firm charakteryzująca poszczególne województwa, dlatego zgromadzone dane unormowano do wartości względnych. Spośród znacznej liczby zmiennych opisujących teleinformatykę wyłoniono następujący dziewięcioelementowy zbiór kryteriów, który obejmował odsetek przedsiębiorstw:

- X_1 – korzystających w swojej działalności z komputerów,
- X_2 – mających dostęp do Internetu,
- X_3 – posiadających własne strony WWW,
- X_4 – korzystających z automatycznej wymiany danych z podmiotami zewnętrznymi,
- X_5 – wykorzystujących wewnętrzną automatyczną wymianę danych,
- X_6 – korzystających z bezpłatnego oprogramowania *open source*,
- X_7 – otrzymujących lub wysyłających e-faktury,
- X_8 – z dostępem do Internetu poprzez łącza bezprzewodowe (wąsko lub szerokopasmowe),
- X_9 – posiadających procedury, których stosowanie ogranicza negatywny wpływ na środowisko.

Obliczenia wykonano z pomocą programu komputerowego ELECTRE TRI 2.0a. Za podział wynikowy uznano grupowanie na 3 klasy. Ze względu na liczbę grup ($k=3$), w omawianym problemie decyzyjnym, zdefiniowano dwa profile określające granice klas. Dla poszczególnych profili podano wartości progów: nierozróżnialności, preferencji i veta na każdym z dziewięciu kryteriów. Z uwagi na subiektywny charakter metody oraz jej założenia przeprowadzono szereg eksperymentów wykorzystując odmienny zestaw profili i progów. Przyjęto także następujące wartości wag dla poszczególnych kryteriów: $w_1=3$, $w_2=4$, $w_3=5$, $w_4=8$, $w_5=5$, $w_6=6$, $w_7=7$, $w_8=8$, $w_9=9$. Najniższą wagę nadano pierwszemu kryterium, ponieważ korzystanie z komputera w firmach jest współcześnie zjawiskiem powszechnym. Podobna sytuacja dotyczy dostępu do Internetu, który (w analizowanym okresie) znajdował się na wysokim poziomie i dla podmiotów, które chcą zajmować znaczącą pozycję na rynku konkurencji jest zjawiskiem oczywistym. Najwyższą wagę przypisano kryterium świadczącym o proekologicznym podejściu przedsiębiorstw w swojej działalności. Przykładem wspomnianego działania może być między innymi redukcja zużycia papieru (podczas kopiowania, drukowania) lub energii elektrycznej (np. wyłączanie komputerów o określonej porze dnia) oraz ograniczenia podróży służbowych przez wykorzystanie możliwości jakie dają wideokonferencje.

Zgodnie z relacją przewyższania aSb_n , uznano, że jest ono autorytatywne, gdy współczynnik wiarygodności σ przekracza przyjęty w badaniu poziom cięcia

$\lambda=0,76$. Szczegółowy opis współczynników wykorzystywanych przy konstruowaniu procedury klasyfikacyjnej metody ELECTRE TRI zawierają między innymi prace: Dias i Mousseau (2003) oraz La Gauffre i in. (2007). Należy wyjaśnić, że współczynnik $\sigma(a, b_h) \in [0,1]$ określany jest mianem stopnia wiarygodności twierdzenia, że aSb_h – odpowiednio b_hSa . Przy czym λ jest to wcześniej określony poziom cięcia (próg odcięcia), który przyjmuje wartości z przedziału $[0,5;1]$. Przewyższanie w stopniu 1 jest w pełni poparte przez wszystkie kryteria. Porównanie σ i λ ujawnia występowanie czterech sytuacji, które zachodzą pomiędzy wariantami decyzyjnymi i profilami separującymi klasy.

- aIb_h ; a jest nierozróżnialne z b_h ,
- $a > b_h$; a jest preferowane wobec b_h ,
- $a < b_h$; b_h jest preferowane wobec a ,
- aRb_h ; a jest nieporównywalne z b_h .

Rysunek 1 przedstawia relacje jakie zachodziły pomiędzy szesnastoma wariantami decyzyjnymi (objektami – województwami) a ustalonymi profilami oddzielającymi klasy dla eksperymentu, którego wyniki prezentuje tabela 1.

Rysunek 1. Relacje pomiędzy obiektami i profilami oddzielającymi klasy

| | Pr01 | Pr02 |
|-------|------|------|
| A0001 | I | I |
| A0002 | > | I |
| A0003 | > | < |
| A0004 | > | < |
| A0005 | R | < |
| A0006 | > | I |
| A0007 | > | > |
| A0008 | > | < |
| A0009 | < | < |
| A0010 | R | < |
| A0011 | > | < |
| A0012 | > | I |
| A0013 | < | < |
| A0014 | R | < |
| A0015 | > | < |
| A0016 | > | < |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS z wykorzystaniem programu ELECTRE TRI 2.0a

Przydział województw do klas nastąpił na podstawie znajomości relacji pomiędzy wariantami decyzyjnymi i profilami według procedur: optymistycznej i pesymistycznej. Zaprezentowany w tabeli 1 wynik to wybrane, przykładowe rozwiązanie spośród wielu uzyskanych podziałów.

Tabela 1. Wyniki klasyfikacji województw według stopnia wykorzystania technologii teleinformatycznych uzyskane metodą ELECTRE TRI

| Procedura optymistyczna | | | Procedura pesymistyczna | | |
|-------------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| klasa 1 | klasa 2 | klasa 3 | klasa 1 | klasa 2 | klasa 3 |
| podkarpackie | lubelskie | dolnośląskie | łódzkie | lubelskie | dolnośląskie |
| świętokrzyskie | lubuskie | kujawsko-pomorskie | podkarpackie | lubuskie | kujawsko-pomorskie |
| | łódzkie | małopolskie | podlaskie | opolskie | małopolskie |
| | opolskie | mazowieckie | świętokrzyskie | pomorskie | mazowieckie |
| | podlaskie | śląskie | warmińsko-mazurskie | wielkopolskie | śląskie |
| | pomorskie | | | zachodniopomorskie | |
| | warmińsko-mazurskie | | | | |
| | wielkopolskie | | | | |
| | zachodniopomorskie | | | | |

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS z wykorzystaniem programu ELECTRE TRI 2.0a

Numeracja grup związana była z hierarchią ważności skupień. Do skupienia pierwszego zaklasyfikowano województwa, w których wykorzystanie technologii teleinformatycznych było na najniższym poziomie, drugiej – województwa przeciętne, natomiast klasę trzecią reprezentowały obiekty, w których znajdują się firmy będące liderami wykorzystania technologii ICT. Analizując wyniki uzyskane w wyniku zastosowania procedury optymistycznej, województwa zostały rozdzielone pomiędzy trzy klasy. Przy czym większość obiektów zaklasyfikowano do grupy drugiej (przeciętnej), natomiast w grupie najsłabszej znalazły się tylko dwa województwa, a w trzeciej (najlepszej) uplasowało się pięć województw. Z kolei rozpatrując rezultaty uzyskane z pomocą podejścia pesymistycznego, które jest bardziej rygorystyczne, można zauważyć, że zbiór obiektów także został rozdzielony pomiędzy trzy klasy. Najwięcej, czyli sześć województw zaklasyfikowano do grupy przeciętnej (drugiej) i po pięć zawierały klasy: pierwsza i trzecia. Porównując wyniki uzyskane w konsekwencji zastosowania dwóch różnych procedur rozdziału obiektów do grup, można stwierdzić, że struktura poszczególnych klas jest zbliżona. W przypadku klasy trzeciej, zarówno w ujęciu optymistycznym jak i pesymistycznym występują te same województwa. Natomiast województwa: łódzkie, podlaskie i warmińsko-mazurskie, które według procedury optymistycznej znalazły się w drugim skupieniu, w ujęciu pesymistycznym pojawiły się w grupie najsłabszej. Oprócz wymienionych województw, które w zależności od procedury zmieniały swoje położenie, pozostałe regiony można określić mianem stabilnych. Oznacza to, że zdecydowanie przynależą do swoich grup, niezależnie od zastosowanego podejścia.

Decydent może wybrać pomiędzy podejściem pesymistycznym a optymistycznym. Na decyzję mają wpływ jego preferencje. Odmienności idei optymistycznej

i pesymistycznej jest zauważalna w końcowym przydziale obiektów do grup. Przykładem może być obiekt, który znajduje się pomiędzy dwoma profilami separującymi klasy. Gdy jest on nieporównywalny z profilem podejście pesymistyczne przypisuje go do niższej grupy niż optymistyczne.

PODSUMOWANIE

Metoda ELECTRE TRI pozwala zobrazować dysproporcje występujące pomiędzy województwami Polski ze względu na stopień wykorzystania teleinformatyki. Procedura ta wykorzystywana jest do klasyfikacji zbioru wariantów decyzyjnych (obiektów) na podzbiory (grupy). Zakłada się, że klasy są porównywalne w sensie preferencji. Można zestawić dwa skupienia i stwierdzić, że jedno jest lepsze od drugiego lub odwrotnie. Metoda ELECTRE wymaga od analityka znacznej wiedzy na temat analizowanego problemu decyzyjnego i umiejętności potrzebnych do określenia profili separujących klasy, nadania wag kryteriom oraz wyznaczenia progów. Ma charakter subiektywny, gdyż posługując się nią wiele zależy od preferencji decydenta, proponowanych przez niego ustawień parametrów wstępnych badania i ostatecznego wyboru propozycji rozwiązania.

Wyniki badań wskazują, że województwa charakteryzujące się wysokim poziomem: infrastruktury komunikacyjnej, nasycenia sprzętem informatycznym, potrafią odpowiednio wykorzystać technologie ICT w procesie zarządzania przedsiębiorstwem i umiejętnie przekazują informacje zwłaszcza w kontaktach z otoczeniem zostały zaklasyfikowane do najlepszej grupy (trzeciej). W klasie pierwszej znalazły się województwa o niskim potencjale rozwojowym co przekłada się na intensywność wykorzystywania technologii informacyjnych i komunikacyjnych.

BIBLIOGRAFIA

- Dias L., Mousseau V. (2003) IRIS: A DSS for Multiple Criteria Sorting Problems, *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, Nr 12, str. 286-287.
- Doumpos M., Zopounidis C. (2002) Multi-criteria classification methods in financial and banking decision, *International Transactions in Operational Research*, Nr 9, str. 568, 570-571.
- Figueira J. R., Greco S., Roy B. (2009) ELECTRE methods with interaction between criteria: An extension of the concordance index, *European Journal of Operational Research*, Nr 199, str. 481.
- La Gauffre P., Haidar H., Poinard D, Laffréchine K., Baur R., Schiatti M.. (2007) A multicriteria decision support methodology for annual rehabilitation programs for water networks, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Nr 22, str. 479, 488.
- Merad M. M., Verdel T., Roy B., Kouniali S. (2004) Use of multi-criteria decision-aids for risk zoning and management of large area subjected to mining-induced hazards, *Tunneling and Underground Space Technology*, Nr 19, str. 167, 172-173.

- Panek E. (2003) *Ekonomia matematyczna*, Wyd. Akademii Ekonomicznej w Poznaniu, Poznań.
- Roy B., Słowiński R (2008) Handling effects of reinforced preference and counter-veto in credibility of outranking, *European Journal of Operational Research*, Nr 188, str. 185, 186-187.
- Roy B. (1991) The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods, *Theory and Decision* Nr 31 (1), str. 49-73.
- Trzaskalik T. (red.) (2006) *Metody wielokryterialne na polskim rynku finansowym*, PWE, Warszawa, str. 43.
- Wykorzystanie technologii informacyjno-(tele)komunikacyjnych w przedsiębiorstwach i gospodarstwach domowych w 2011 r., GUS. Zasoby Internetu z dnia 30. 03. 2012 r. http://www.stat.gov.pl/gus/5840_wykorzystanie_ict_PLK_HTML.htm

**APPLICATION OF THE ELECTRE TRI METHOD
FOR EVALUATION OF REGIONAL DIVERSITY OF POLAND
IN TERMS OF NEW ICT TECHNOLOGIES APPLICATION IN 2011**

Abstract: The aim of the article is the evaluation of regional diversity of Poland in terms of new ITC technology application in companies in 2011. Conducted research includes the ELECTRE TRI method that is based on a model of preferences in a form of outranking relations. Relations are defined according to information and represent strictly defined preferences of a decision maker. What is more, the model does not impose the transitivity of preferences and enables a situation of comparison impossibility.

Keywords: information and communication technology (ICT), classification, outranking relation, ELECTRE TRI method