

Aneta Becker

ZASTOSOWANIE WYBRANYCH KOMPLEMENTARNYCH METOD DO KLASYFIKACJI POZIOMU WYKORZYSTANIA TECHNOLOGII ICT W POLSKICH WOJEWÓDZTWACH

APPLICATION OF SELECTED, COMPLEMENTARY METHODS FOR VOIVODESHIPS CLASSIFICATION IN TERMS OF USE OF ICT TECHNOLOGY

Katedra Zastosowań Matematyki w Ekonomii, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Klemensa Janickiego 31, 71-270 Szczecin

Abstract. In the article there are presented results of classification researches of Polish voivodships according to the level of information and telecommunication technology use in enterprises in 2008. In researches there was used ELECTRE TRI method that is an example of multi-criteria method that supports decisions used in classification of decision variants and which is based on the exceeding relation. These results are compared with the grouping obtained using the classical *k*-means method. *K*-means is one of the simplest algorithms that solve the well known clustering problem. Grouping of package of object enables on assigned number of concentration (aggregation), which will be differed in possible biggest degree.

Słowa kluczowe: klasyfikacja, metoda ELECTRE TRI, metoda *k*-średnich, relacja przewyższania, technologie teleinformatyczne.

Key words: classification, ELECTRE TRI method, information and communication technology, *k*-means method, outranking relation.

WSTĘP

Światowa gospodarka funkcjonuje przede wszystkim dzięki przedsiębiorczości. Natomiast inspiracją dla przedsiębiorczości jest konkurencja, która zmusza do ciągłego usprawniania obecnego stanu i poszukiwania nowych, niespotykanych w lokalnym otoczeniu, rozwiązań biznesowych. Griffin (2002) definiuje przedsiębiorczość jako proces organizowania i prowadzenia działalności gospodarczej oraz podejmowania związanego z nią ryzyka. Motorem tych zmian jest człowiek i jego miejsce pracy, gdzie powstają nowe pomysły i technologie. Naturę ludzką charakteryzuje potrzeba konstruowania nowych rozwiązań, które zagwarantują przedsiębiorstwu przewagę lub co najmniej trwanie na rynku konkurencji.

Rozwojowi Internetu towarzyszą nowe zjawiska nie tylko w sferze powszechnego dostępu do informacji (wiedzy), ale również w sferze społeczno-ekonomicznej. Internet spowodował, że zanika bariera terytorialna prowadzenia działalności gospodarczej. Przed aktywnością przedsiębiorstw otworzyły się nowe rynki zaopatrzenia i zbytu. Wykorzystanie technologii internetowych jest współcześnie głównym czynnikiem zwiększającym konkurencyjność przedsiębiorstw na rynku. Nie należy jednak przeceniać roli sprawczej samego Internetu. Technologie internetowe nie pomogą nieprawidłowo zarządzanej firmie. Wybór dobrze przemyślanej strategii rozwoju firmy wiąże się nieodłącznie z doбором odpowiednich technologii informatycznych, przy czym czynnikami decydującymi o efektywności ich wdrażania

– jak podaje Drelichowski (2006) – szczególnie rozwiązań z zakresu zarządzania wiedzą są sprawność organizacyjna i kultura zarządzania firmą. Chodzi o integrację podstawowych funkcji przedsiębiorstwa w kierunku zrównoważonego rozwoju na globalnym rynku produkcji, usług i informacji ekonomicznych. W rozwiązaniach biznesowych wyraźnie zaznacza się zwrot ku organizacjom mobilnym (przedsiębiorstwom wirtualnym) i internetowym technologiom rozproszonym. Na przestrzeni czasu wykształciło się wiele dyscyplin wiedzy i techniki, na przykład telekomunikacja (dziedzina techniki związana z przesyłaniem i przetwarzaniem informacji), informatyka (nauka o przetwarzaniu i przechowywaniu informacji), automatyka (związana z wykorzystaniem informacji do celów sterowania), elektronika, które podlegają integracji (od około roku 1980 nastąpiło rozpowszechnienie się sieci komputerowych) w jedną grupę, zwaną obecnie technikami informacyjnymi. Zapoczątkowały one nowy okres rozwoju ludzkości zwany erą informacyjną. Jest to czas, w którym dąży się do powszechności komunikowania się za pomocą technologii informacyjnej (ang. IT – *Information Technology*).

Celem artykułu jest klasyfikacja województw Polski ze względu na poziom wykorzystania technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w przedsiębiorstwach w 2008 r. W badaniach klasyfikacyjnych wykorzystano metodę wielokryterialnego wspomaganie decyzji ELECTRE TRI. Uzyskane wyniki porównano z grupowaniem otrzymanym za pomocą klasycznej metody taksonomicznej k -średnich. Zastosowane algorytmy pozwoliły na wyodrębnienie obszarów o różnym stopniu zaawansowania województw w przestrzeni teleinformatycznej. Założono komplementarny (względem siebie) charakter metod, co pozwoliło otrzymać wyniki prezentujące subiektywne i obiektywne ujęcie problemu.

Pojęcie technologii informacyjnych i komunikacyjnych, zwanych technologiami informacyjno-telekomunikacyjnymi, teleinformatycznymi lub technikami informacyjnymi (ICT – z ang. *Information and Communication Technology*), odnosi się do wszelkich działań związanych z produkcją i wykorzystaniem urządzeń telekomunikacyjnych i informatycznych oraz usług im towarzyszących, a także do gromadzenia, przetwarzania, udostępniania informacji w formie elektronicznej, z wykorzystaniem technik cyfrowych i wszelkich narzędzi komunikacji elektronicznej (Lubelska Agencja Wspierania Przedsiębiorczości 2009).

WYBRANE METODY KLASYFIKACJI

Metoda ELECTRE TRI

Rodzina metod ELECTRA, do której należy metoda ELECTRE TRI, opiera się na relacji przewyższania S , binarnej relacji, która mówi, że wariant a przewyższa wariant b (aSb), jeżeli po wzięciu pod uwagę dostępnych informacji dotyczących 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).

W zagadnieniach klasyfikacyjnych, w których można zastosować metodę ELECTRE TRI, relacja przewyższania używana jest do szacowania stopnia przewyższania wariantów decyzyjnych a (obiektów) w odniesieniu do profili separujących od siebie klasy (Dumpos i Zopo-

unidis 2002). Przydział obiektów do klas następuje według dwóch komplementarnych procedur – optymistycznej i pesymistycznej. Stosując obie procedury, dokonuje się klasyfikacji na podstawie znajomości relacji przewyższania S dla każdej uporządkowanej pary (a, b_h) , gdzie: $a (a_1, a_2, \dots, a_n)$ jest wariantem decyzyjnym, a b_h – profilem będącym górną granicą klasy C_h i dolną granicą 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 $b_h P_a$ (b_h jest szeroko preferowane nad a), to a zostaje przydzielone do klasy C_h . Z kolei w procedurze pesymistycznej następuje porównanie a kolejno z profilami b_h ($h = 1, 2, \dots, p - 1, \dots, 1, 0$), począwszy od profilu najwyższego (b_p). Jeśli b_h jest pierwszym napotkanym profilem takim, że $a S b_h$, to a zostaje przydzielone do klasy C_{h+1} ($h = 1, 2, \dots, p$) – Doumpos i Zopounidis (2002), La Gauffre i in. (2007).

Danymi wejściowymi w metodzie ELECTRE TRI są wagi kryteriów (w_j) oraz progi: nierozróżnialności (q_j), preferencji (qp_j) i veta (v_j). Należy również podać liczbę klas i określić ich granice, czyli profile separujące. Każdy wariant decyzyjny jest opisany ze względu na jego wartości na kryteriach (zmiennych). Wstępne działanie procedury obliczeniowej, zanim nastąpi końcowe przydzielenie obiektów do konkretnych klas, opiera się na wykonywaniu wielu testów (zgodności i niezgodności). Szczegółowy opis wszelkich współczynników, wykorzystywanych przy konstruowaniu całej procedury klasyfikacyjnej, zawierają między innymi prace Dias i Mousseau (2003) oraz La Gauffre i in. (2007).

Metody opiera się na wykonywaniu testów zgodności i niezgodności między wariantami decyzyjnymi a profilami separującymi klasy. Przy danym skończonym zbiorze wariantów decyzyjnych A i spójnej rodzinie kryteriów g_1, g_2, \dots, g_m ($F = \{1, 2, \dots, m\}$) oraz zbiorze B profili separujących klasy sprawdzenie twierdzenia, że $a S b_h$ (lub $b_h S a$) wymaga spełnienia dwóch warunków – po pierwsze, zgodności dla relacji przewyższania $a S b_h$ (lub $b_h S a$). Test zgodności polega na badaniu siły koalicji kryteriów (tzw. koalicji zgodnej), które przemawiają za tym, że $a S b_h$. Większość kryteriów powinna popierać tę tezę. Ogólny współczynnik zgodności $c(a, b_h) \in [0, 1]$, który oblicza się za pomocą cząstkowych współczynników zgodności i zdefiniowanych przez decydenta wag kryteriów, można zapisać następująco:

$$c(a, b_h) = \frac{\sum_{j \in F} w_j c_j(a, b_h)}{\sum_{j \in F} w_j}, \quad j = 1, 2, \dots, m; \quad h = 1, 2, \dots, p \quad (1)$$

gdzie:

$c_j(a, b_h)$ – cząstkowe współczynniki zgodności,

w_j – zbiór zdefiniowanych przez decydenta wag kryteriów.

Działania te mają na celu sprawdzenie, jakie relacje zachodzą między wariantem decyzyjnym a profilem separującym. Dla każdego z kryteriów należy wykonać dwa testy zgodności – dla hipotezy $a S b_h$ i $b_h S a$.

Cząstkowy współczynnik zgodności $c_j(a, b_h) \forall b_h \in F$ konstruuje się następująco:

$$c_j(a, b_h) = \begin{cases} 0, & \text{gdy } g_j(a) \leq g_j(b_h) - p_j(g_k) \\ 1, & \text{gdy } g_j(a) \geq g_j(b_h) - q_j(g_k) \\ \text{w przeciwnym wypadku} & \frac{p_j(b_h) - g_j(b_h) + g_j(a)}{p_j(b_h) - q_j(b_h)} \end{cases} \quad (2)$$

Drugim warunkiem, który powinien zostać spełniony, jest występowanie słabej niezgodności lub jej brak. Podczas weryfikowania tego wymogu żadne z kryteriów nie powinno sprzeciwiać się zbyt mocno twierdzeniu, że aSb_h (lub b_hSa). W teście niezgodności bada się, czy poza koalicją zgodną istnieje kryterium, dla którego przewaga b_h nad a jest tak duża, że przeciwstawia się hipotezie dotyczącej przewyższania aSb_h . Współczynniki niezgodności $d_j(a, b_h) \forall j \in F$ można wyznaczyć, korzystając z zapisu:

$$d_j(a, b_h) = \begin{cases} 0, & \text{gdy } g_j(a) \geq g_j(b_h) - p_j(g_k) \\ 1, & \text{gdy } g_j(a) \leq g_j(b_h) - v_j(g_k) \\ \text{w przeciwnym wypadku} & \frac{g_j(b_h) - g_j(a) + p_j(b_h)}{v_j(b_h) - p_j(b_h)} \end{cases} \quad (3)$$

Wyznaczone współczynniki: $c(a, b_h)$ i $d_j(a, b_h)$ można zsyntetyzować do jednego parametru $\sigma(a, b_h) \in [0, 1]$, zwanego wskaźnikiem wiarygodności, który odzwierciedla stopień wiarygodności twierdzenia, że aSb_h (odpowiednio b_hSa):

$$\sigma(a, b_h) = c(a, b_h) \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(a, b_h)}{1 - c(a, b_h)} \quad (4)$$

gdzie:

$$\bar{F} = \{j \in F / d_j(a, b_h) > c(a, b_h)\}.$$

Twierdzenie dotyczące przewyższania aSb_h uważa się za wiarygodne, jeśli tzw. stopień wiarygodności $\sigma(a, b_h) \geq \lambda$. 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, mianowicie:

- $(\sigma(a, b_h) \geq \lambda, \sigma(b_h, a) \geq \lambda) \Rightarrow (aSb_h, b_hSa) \Rightarrow aIb_h$: a jest nierozróżnialne z b_h ;
- $(\sigma(a, b_h) \geq \lambda, \sigma(b_h, a) < \lambda) \Rightarrow (aSb_h, \neg b_hSa) \Rightarrow a \succ b_h$: a jest preferowane wobec b_h ;
- $(\sigma(a, b_h) < \lambda, \sigma(b_h, a) \geq \lambda) \Rightarrow (\neg aSb_h, b_hSa) \Rightarrow b_h \succ a$: b_h jest preferowane wobec a ;
- $(\sigma(a, b_h) < \lambda, \sigma(b_h, a) < \lambda) \Rightarrow (\neg aSb_h, \neg b_hSa) \Rightarrow aRb_h$: a jest nieporównywalne z b_h .

Na podstawie znajomości relacji przewyższania S dla każdej pary uporządkowanej (a, b_h) następuje przydział wariantów do kategorii według wspomnianych procedur – optymistycznej i pesymistycznej.

Metoda k-średnich

Punktem wyjścia w metodach optymalizacyjno-iteracyjnych, do których należy metoda k -średnich, jest wstępny podział zbioru obiektów Ω na k skupień. Sama procedura postę-

powania w metodach optymalizacyjno-iteracyjnych polega na poprawianiu zadanego podziału z punktu widzenia odpowiednio zdefiniowanego kryterium optymalności. Ciąg operacji przebiega w trzech głównych etapach. Pierwszy krok polega na wyznaczeniu wyjściowej wartości funkcji–kryterium jakości grupowania oraz maksymalnej liczby iteracji, następnie na ustaleniu odległości każdego obiektu od środków ciężkości (wektorów średnich arytmetycznych) istniejących grup. W ostatnim etapie dokonuje się zmiany przyporządkowania obiektów do grupy charakteryzującej się najbliższym środkiem ciężkości lub grupy zapewniającej największą poprawę jakości klasyfikacji. Postępowanie kończy się po sprawdzeniu, czy nie nastąpiło przemieszczenie obiektów. W przeciwnym razie kontynuuje się całą procedurę, wyznaczając nową funkcję–kryterium. Należy również uważać, aby nie przekroczyć zadanej liczby iteracji (Grabiński 1992).

Metoda k -średnich umożliwia pogrupowanie zbioru obiektów na k skupień, które będą się różniły od siebie w możliwie największym stopniu. Z uwagi na sposób definiowania funkcji–kryterium, reguł podejmowania decyzji w procesie klasyfikacyjnym, metody ustalania wstępnego podziału obiektów istnieje wiele wersji algorytmu k -średnich. Jednak najczęściej wykorzystuje się metodę opracowaną przez Hartigana (1975). Schemat postępowania można podzielić na sześć zasadniczych etapów (Grabiński 1992).

1. Określenie liczby iteracji oraz klas (k), na jakie ma zostać podzielony n -elementowy zbiór obiektów, przy czym $k \in \langle 2, n-1 \rangle$.

2. Ustalenie wyjściowej macierzy środków ciężkości grup:

$$B = [b_{lj}] \quad (l = 1, \dots, k; j = 1, \dots, m) \quad (5)$$

gdzie:

m – liczba zmiennych.

Poszczególne obiekty są przyporządkowane do klas, dla których odległość euklidesowa jest najmniejsza.

3. Wyznaczenie wartości wyjściowego błędu podziału jednostek na k grup:

$$e = \sum_{i=1}^n d_{il}^2 \quad (6)$$

gdzie:

d_{il} – odległość euklidesowa pomiędzy i -tym obiektem a najbliższym l -tym środkiem ciężkości:

$$d_{il}^2 = \sum_{j=1}^m (x_{ij} - b_{lj})^2 \quad (i = 1, \dots, n) \quad (7)$$

4. Określenie zmiany błędu podziału dla pierwszego obiektu, które wynikają z przyporządkowania tego obiektu kolejno do wszystkich istniejących klas:

$$\Delta e_l^{(1)} = \frac{n_1 d_{1l}^2}{n_l + 1} - \frac{n_{1l} d_{1l_1}^2}{n_{l_1} - 1} \quad (8)$$

gdzie:

n_l – liczebność l -tej klasy,

d_{1l}^2 – odległość pierwszej jednostki od środków ciężkości l -tej klasy,

n_{l_1} – liczebność klasy zawierającej pierwszy obiekt,

$d_{1l_1}^2$ – odległość pierwszej jednostki od najbliższego środka ciężkości.

Jeżeli $\min \Delta e_l^{(1)}$ dla wszystkich $l \neq l_1$ jest ujemna, to pierwszy obiekt zostaje przypisany do grupy, dla której $\Delta e_l^{(1)} = \min$. Następnie po uwzględnieniu zmian przelicza się środki ciężkości grup B i wyznacza wartość błędu podziału. Gdy $\min \Delta e_l^{(1)}$ jest dodatnia lub równa zero, nie dokonuje się żadnych zmian.

5. Przedstawione powyżej postępowanie jest powtarzane w przypadku każdego obiektu. Przejście całego cyklu działań kończy pierwszą iterację procedury.

6. Cały proces kończy się po sprawdzeniu, czy nie nastąpiło przemieszczenie obiektów z klasy do klasy. W przeciwnym razie rozpoczyna się nową iterację. Wszystkie działania są powtarzane do momentu, w którym liczba iteracji nie przekroczy założonej wielkości.

MATERIAŁ EMPIRYCZNY

Funkcjonowanie w warunkach gospodarki konkurencyjnej zmusza przedsiębiorców do nieustannego poszukiwania sposobów na osiągnięcie wzrostu efektywności i uzyskania (utrzymania) przewagi konkurencyjnej. Jednym ze sposobów wyróżnienia się jest wdrożenie nowych technologii. Według raportów Komisji Europejskiej Polska zajmuje jedno z ostatnich miejsc w UE w zakresie stosowania nowoczesnych technologii, które znacznie wpływają na wzrost produktywności pracy. Według Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) przedsiębiorstwa w większości finansują proces innowacyjny ze środków własnych. Istotnym źródłem finansowania są także kredyty bankowe, natomiast niewielki procent podmiotów korzysta ze wsparcia pochodzącego z Unii Europejskiej. Najbardziej znaczącym z punktu widzenia przedsiębiorców programem unijnym jest program operacyjny „Innowacyjna gospodarka”, ukierunkowany na realizację innowacyjnych projektów, wdrożeń i prac badawczych nad nowoczesnymi technologiami, szczególnie technologiami IT i ICT (Fałek 2010).

Według badań przeprowadzonych przez Economist Intelligence Unit (EIU), które dotyczyło konkurencyjności sektora IT, Polska w 2008 r. zajęła 32 miejsce (wśród 66 krajów objętych badaniem). Natomiast wśród 24 państw Unii Europejskiej Polska znalazła się na 19 pozycji. Celem badań EIU była ocena i porównanie krajów pod względem warunków rozwoju sektora IT i co za tym idzie sprawdzenie, w jakim stopniu wspierana jest konkurencyjność tej branży. Rezultaty uzyskane przez EIU wskazały, że sukces danego kraju w tworzeniu środowiska sprzyjającego rozwojowi sektora IT zależy od sześciu czynników: wykwalifikowanej siły roboczej, środowiska rozwoju innowacyjności, infrastruktury technicznej, systemu prawnego skutecznie chroniącego własność intelektualną (patenty, prawa autorskie), otwartej, konkurencyjnej gospodarki oraz wsparcia administracji publicznej w promowaniu rozwoju technologicznego, przy zachowaniu swobody działalności gospodarczej. Badania ujawniły, że Polska miała najlepsze osiągnięcia w zakresie: systemu prawnego, rozbudowanej infrastruktury i wykwalifikowanych pracowników. Natomiast dziedziny, w których zauważono możliwość poprawy, dotyczyły kreowania otwartej, konkurencyjnej gospodarki oraz rządowego wsparcia dla rozwoju technologii oraz nakładów na badania i rozwój (Anam 2010).

Według ocen biura badawczo-analitycznego DiS, opartych na analizie wyników kwartalnych ponad 120 działających w Polsce firm informatycznych, dynamika roczna rynku IT w 2008 r. wyniosła ogółem 5,5%. Z badania wynika, że stosunkowo najbardziej odporny na kryzys okazał się sektor przedsiębiorstw. Najszybsze wzrosty osiągnęły segmenty IT dla dużych przedsiębiorstw, ale także małe i średnie przedsiębiorstwa odnotowały wzrosty o około 10%. Dobre wyniki utrzymały też segmenty outsourcingu i serwisu informatycznego, a także IT dla handlu. Jeśli chodzi o rynki technologiczne, dużymi wzrostami charakteryzowały się zwłaszcza rynek Internetu oraz rynek gier i multimediiów. Na niską dynamikę rynku IT złożyły się spadki w takich branżach, jak bankowość i finanse oraz sektor publiczny. Ograniczenia wydatków w tych branżach wywarły spory wpływ na duże spadki zwłaszcza na rynkach konsultacji. Branże te na pewno przyczyniły się też do niskiej dynamiki rynków sprzętowych IT oraz związanych z nimi rynków integracji systemowej (Anam 2010).

W 2008 r. GUS przeprowadził badanie wykorzystania ICT w przedsiębiorstwach na reprezentatywnej próbie 14 117 podmiotów, w których liczba pracujących wynosiła co najmniej 10 osób i których działalność gospodarcza zaklasyfikowana została według Polskiej Klasyfikacji Działalności (PKD) do następujących sekcji: D (przetwórstwo przemysłowe), F (budownictwo), G (handel i naprawy), H (hotele i restauracje), I (transport, magazynowanie i łączność), K (obsługa nieruchomości, informatyka, nauka), O (działalność filmowa, radiowa i telewizyjna) – Wykorzystanie technologii (2008).

Na podstawie zebranego materiału statystycznego ustalono, że najwięcej przedsiębiorstw wśród badanych zlokalizowanych było w województwach: mazowieckim, wielkopolskim i śląskim. Natomiast najmniej liczne grupy firm reprezentowały województwa: podlaskie, opolskie i świętokrzyskie. Ponieważ w poszczególnych województwach w badaniu brała udział różna liczba podmiotów gospodarczych, wszelkie zebrane informacje przeliczono na jedno przedsiębiorstwo. Działania te miały na celu uniemożliwienie porównywania poszczególnych regionów Polski.

Uzyskane przez GUS informacje wykazały, że wśród przedsiębiorstw, które wykorzystywały w swojej działalności komputer, dominowały firmy mające swoje siedziby w województwie mazowieckim. Najgorzej pod tym względem wyglądała sytuacja w województwach warmińsko-mazurskimi i łódzkim. Komputery z dostępem do Internetu wykorzystywane były w poszczególnych rejonach na podobnym poziomie. Większość firm, które posiadały komputer, korzystała także z Internetu. W lokalną sieć komputerową LAN najlepiej wyposażone były podmioty z województw: mazowieckiego, małopolskiego i kujawsko-pomorskiego, natomiast najgorzej – podmioty z województw lubelskiego i łódzkiego. Wśród firm korzystających z bezpłatnego oprogramowania przeważały firmy z województw: podlaskiego, małopolskiego i łódzkiego. Natomiast najmniej zainteresowane tą formą oprogramowania były podmioty z województwa śląskiego. W 2008 r. z systemów ERP (ang. *Enterprise Resource Planning* – system informatyczny do planowania zasobów przedsiębiorstwa) korzystały głównie firmy z województw mazowieckiego i małopolskiego. Najmniejszą popularnością systemy te cieszyły się wśród firm mających swoje siedziby w województwach: warmińsko-mazurskim, podlaskim i zachodniopomorskim. Natomiast oprogramowanie CRM (ang. *Customer Relationship Management*), które służy do zbierania, łączenia, przetwarzania i analizowania informacji o klientach i może mieć charakter operacyjny i analityczny, zarówno w pierwszym, jak i drugim ujęciu było najczęściej używane przez firmy z województwa ma-

zowieckiego. Słabo w tym zestawieniu, jeśli chodzi o CRM, wypadały podmioty z województw lubelskiego i warmińsko-mazurskiego.

Do najpopularniejszych usług wśród badanych firm należało korzystanie z Internetu w celach bankowych i finansowych oraz kontaktowanie się z organami administracji publicznej. Według GUS popularne stało się stosowanie faktur elektronicznych (e-faktur). Przedsiębiorstwa odnotowały korzyści wynikające ze stosowania technologii informatycznych w takich obszarach działalności, jak: reorganizacja i upowszechnianie rutynowych czynności, uwolnienie zasobów, zwiększenie dochodów oraz rozwój nowych produktów i usług.

Materiał statystyczny, zgromadzony przez GUS, obejmujący informacje z zakresu teleinformatyki posłużył do klasyfikacji województw Polski pod względem wykorzystania technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w przedsiębiorstwach. Lista potencjalnych zmiennych, zakwalifikowanych do badań klasyfikacyjnych, obejmowała kilkadziesiąt cech. Zgodnie z twierdzeniem, że wstępnym warunkiem uznania różnych wielkości za cechy diagnostyczne jest ich dostatecznie duża zmienność (Dziechciarz 2003), ze wstępnie ustalonego zbioru wyeliminowano zmienne, które uznano za mało zróżnicowane (niewnoszące istotnych informacji). Przyjęto wartość krytyczną współczynnika zmienności $v^* = 0,1$. Po czym zastosowano metodę parametryczną Z. Hellwiga (Nowak 1990), która służy do klasyfikacji oraz doboru cech diagnostycznych. Użycie metody Hellwiga pozwoliło na wyłonienie następującego ośmioelementowego zbioru zmiennych (kryteriów), który obejmował odsetek przedsiębiorstw:

- korzystających z Intranetu w celu rozpowszechniania informacji dotyczących ogólnej polityki i strategii przedsiębiorstw – X_1 ;
- posiadających aplikację dotyczącą spraw kadrowych – X_2 ;
- posiadających własną stronę internetową, która umożliwia dokonywanie zamówień według własnej specyfikacji – X_3 ,
- posiadających własną stronę internetową, która umożliwia dokonywanie płatności online – X_4 ;
- posiadających własną stronę internetową, która umożliwia personalizację zawartości strony dla stałych użytkowników – X_5 ;
- korzystających z automatycznej wymiany danych z podmiotami zewnętrznymi w celu otrzymywania zamówień od odbiorców – X_6 ;
- korzystających z automatycznej wymiany danych z podmiotami zewnętrznymi w celu wysyłania lub otrzymywania informacji o produktach – X_7 ;
- korzystających z automatycznej wymiany danych z podmiotami zewnętrznymi, spełniających normę EDIFACT (międzynarodową normę dotyczącą elektronicznej wymiany danych, opracowaną w ramach ONZ) – X_8 .

Wyłonione zmienne (kryteria) były podstawą zasadniczych badań zmierzających do pogrupowania polskich województw na podstawie zaawansowania technologii teleinformatycznych w firmach.

WYNIKI BADAŃ KLASYFIKACYJNYCH

Badania klasyfikacyjne polskich województw pod względem wykorzystania technologii ICT w przedsiębiorstwach rozpoczęto od zastosowania metody ELECTRE TRI. W tym celu

skorzystano z programu komputerowego ELECTRE TRI 2.0a. Za podział wynikowy uznano grupowanie na trzy skupienia. Ze względu na liczbę klas ($k = 3$) dla rozpatrywanego problemu decyzyjnego zdefiniowano dwa profile określające granice klas. Dla każdego z tych profili podano wartości progów: nierozróżnialności, preferencji i veta na każdym z kryteriów. Przyjęto także następujące wartości wag dla poszczególnych kryteriów: $w_1 = 4$, $w_2 = 2$, $w_3 = 5$, $w_4 = 7$, $w_5 = 6$, $w_6 = 6$, $w_7 = 5$, $w_8 = 7$. Najniższą wagę nadano kryterium drugiemu ze względu na powszechność stosowania informatycznych systemów kadrowych w firmie. Natomiast kryteriom, które świadczyły o wysokim stopniu zaawansowania technologicznego w e-biznesie przypisano najwyższe wagi. Uznano, że przewyższanie wariantów decyzyjnych w odniesieniu do profili separujących od siebie klasy jest wiarygodne, gdy współczynnik wiarygodności σ przekracza poziom cięcia $\lambda = 0,75$.

Rezultaty klasyfikacji, uzyskane za pomocą metody ELECTRE TRI, zestawiono w tab. 1. Zaprezentowane w artykule wyniki są przykładowym rozwiązaniem. Zastosowanie omawianej metody wymagało przeprowadzenia wielu eksperymentów z różnymi profilami separującymi klasy i wartościami progów: nierozróżnialności, preferencji i veta oraz z odmiennym poziomem λ .

Tabela 1. Wyniki grupowania metodą ELECTRE TRI

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

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (Wykorzystanie technologii... 2008).

W przypadku klasycznej metody k -średnich wykorzystano algorytm dostępny w pakiecie komputerowym Statistica PL 8. Za podział wynikowy uznano grupowanie na trzy skupienia. Zestawienie końcowe tych działań przedstawiono w tab. 2.

Zarówno w metodzie ELECTRE TRI, jak i k -średnich numeracja grup związana była z hierarchią ważności klas. Do skupienia pierwszego zaklasyfikowano województwa, w których wykorzystanie technologii teleinformatycznych było na najniższym poziomie, do drugiego – województwa przeciętne. Natomiast klasę trzecią reprezentowały obiekty charakteryzujące się najwyższym poziomem rozpatrywanego zjawiska.

Analizując rezultaty uzyskane w wyniku zastosowania procedury optymistycznej, metody ELECTRE TRI, można zauważyć, że województwa zostały podzielone tylko pomiędzy dwie klasy. Przy czym większość obiektów została zaklasyfikowana do grupy drugiej (przeciętnej), natomiast w grupie trzeciej (najlepszej) znalazło się sześć województw. Z kolei rozpatrując rezultaty otrzymane w konsekwencji zastosowania podejścia pesymistycznego, które jest podejściem bardziej rygorystycznym, można zaobserwować, że zbiór obiektów został podzielony pomiędzy trzy klasy. Najwięcej województw zaklasyfikowano do grupy najslabszej, czyli pierwszej, siedem obiektów zawierała klasa druga, natomiast w klasie trzeciej znalazło się tylko jedno województwo. Porównując wyniki uzyskane przy zastosowaniu dwóch różnych procedur przydziału obiektów do grup, można stwierdzić, że struktura poszczególnych klas jest zdecydowanie różna. W podejściu optymistycznym zaproponowano zaklasyfikowanie województw tylko do dwóch lepszych klas, pomijając klasę najniższą. Natomiast w podejściu pesymistycznym najwięcej obiektów umieszczono w klasie pierwszej, w tym dwa województwa: łódzkie i małopolskie, które w poprzednim ujęciu znajdowały się w skupieniu trzecim. Zarówno w ujęciu pesymistycznym, jak i optymistycznym znalazły się obiekty, które można określić jako stabilne, czyli zdecydowanie przypisane do swoich grup, niezależnie od zastosowanej procedury. Wśród nich znalazły się województwa: mazowieckie (klasa 3), podlaskie, pomorskie, śląskie, świętokrzyskie (klasa 2). Decydent, podejmując decyzje, ma możliwość wyboru pomiędzy podejściem pesymistycznym a optymistycznym, które mają charakter uzupełniający; wszystko zależy od jego preferencji.

Tabela 2. Wyniki grupowania metodą k -średnich

Skupienie 1	Skupienie 2	Skupienie 3
lubelskie	dolnośląskie	kujawsko-pomorskie
zachodniopomorskie	lubuskie	mazowieckie
	łódzkie	podkarpackie
	małopolskie	pomorskie
	opolskie	
	podlaskie	
	śląskie	
	świętokrzyskie	
	warmińsko-mazurskie	
	wielkopolskie	

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS (Wykorzystanie technologii... 2008).

Zastosowanie metody k -średnich dało jeszcze inną propozycję grupowania. W klasie pierwszej znalazły się dwa województwa – lubelskie i zachodniopomorskie, które w przypadku zastosowania metody ELECTRE TRI znalazły się odpowiednio w klasie pierwszej i drugiej – w przypadku podejścia pesymistycznego, natomiast w skupieniu drugim, a nawet trzecim przy podejściu optymistycznym. Klasa druga zawiera najwięcej obiektów, podobnie jak zestawienie uzyskane w wyniku zastosowania metody ELECTRE TRI. Natomiast grupa

trzecia była charakteryzowana przez cztery obiekty, spośród których tylko województwo mazowieckie w prezentowanych podziałach należało w każdym ujęciu do tej klasy. Pozostałe umieszczone zostały w klasach drugiej lub trzeciej. Na podstawie analizy uzyskanych wyników grupowania można stwierdzić, że na uwagę zasługuje województwo mazowieckie, które w każdym podziale znajdowało się w klasie trzeciej, charakteryzującej się najwyższym potencjałem teleinformatycznym. Jest to region z dużą aglomeracją miejską, którą cechują: wielofunkcyjność, urozmaicona struktura gospodarcza, dobrze rozwinięta infrastruktura komunikacyjna (szczególnie w kontaktach z zagranicą), duża koncentracja kapitałów zagranicznych, środowisko sprzyjające przedsiębiorczości oraz zasoby wykwalifikowanej siły roboczej. Jest to obszar najlepszy pod względem poziomu uprzemysłowienia i sieci osiedleńczej, z największą liczbą przedsiębiorstw o wysokiej technologii.

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0,6559 & 1,1272 \\ 0,8099 & 0 & 0,6966 \\ 1,0617 & 0,8346 & 0 \end{bmatrix}$$

Analizując uzyskane metodą k -średnich grupy, sprawdzono, jaką postać miały macierze odległości między skupieniami. Elementami macierzy \mathbf{D} są odległości euklidesowe (pod przekątną macierzy) i kwadraty odległości (nad przekątną) obliczone na podstawie średnich ze skupień. Mniejsze wartości elementów macierzy \mathbf{D} wskazują na mniejsze różnice wartości cech diagnostycznych w wyróżnionych obiektach, a więc większe podobieństwo obiektów (skupień). Zatem w przypadku prezentowanej macierzy \mathbf{D} otrzymane wyniki sugerują, że stosunkowo blisko siebie znalazły się grupy pierwsza i druga (odległość Euklidesowa $d_{21} = 0,8099$). Nieco większy jest dystans pomiędzy skupieniem drugim a trzecim ($d_{32} = 0,8346$), natomiast zdecydowanie różnią się od siebie skupienia pierwsze i trzecie ($d_{31} = 1,0617$).

PODSUMOWANIE

Metoda ELECTRE TRI służy do podziału zbioru wariantów decyzyjnych na podzbiory (klasy), przy czym zakłada się, że klasy są porównywalne w sensie preferencji, co oznacza, że można porównać każde dwie klasy i stwierdzić, że jedna klasa jest lepsza od drugiej lub odwrotnie. Zastosowanie metody ELECTRE TRI wymaga od analityka dużej wiedzy nt. badanego problemu decyzyjnego. Dotyczy to między innymi: określania profili separujących klasy, nadawania wag kryteriom oraz wyznaczania progów. Wiedza ta ma wpływ na kształtowanie się końcowych wyników klasyfikacji. Metoda ELECTRE TRI może służyć do celów poznawczych jako narzędzie badania złożonej oceny rzeczywistości społeczno-gospodarczej, która uwzględnia trudne analityczne problemy.

Pozycje literaturowe, które opisują wykorzystanie klasycznych metod klasyfikacyjnych (np. k -średnich), wskazują na ważną zaletę tej grupy metod, mianowicie na powszechność ich stosowania i związany z tym bogaty opis procedur i zastosowań praktycznych. W zagadnieniach klasycznych każdy element przestrzeni musi należeć do jakiejś grupy, a przynależność obiektu do danej klasy opisywana jest za pomocą zmiennej zero-jedynkowej lub prawdy i fałszu. Oznacza to, że w metodach tych następuje jednoznaczne przyporządko-

wanie każdego elementu do którejś z utworzonych grup i że stosowanie ich pozwala na precyzyjne przydzielenie elementów rozpatrywanego zbioru danych do odpowiednich grup oraz wskazanie elementów, które nie spełniają określonych warunków przynależności do żadnej z nich.

Konfrontacja wyników uzyskanych wielokryterialną metodą wspomaganą decyzji ELECTRE TRI z rezultatami podziału dokonanego metodą k -średnich wskazała na odmienny podział województw Polski ze względu na poziom wykorzystania technologii ITC. Jednak szczegółowe porównanie otrzymanych podziałów przyczyniło się do znalezienia kilku podobieństw w konstrukcji poszczególnych skupień, takich jak przynależność województwa mazowieckiego do klasy trzeciej. Występujące w zestawieniach rozbieżności wynikały z konstrukcji i charakteru stosowanych metod. W przypadku metody ELECTRE TRI wiele uwagi należało poświęcić przygotowaniu do badań całego modelu. Ustawienie wstępnych parametrów wymagało wiedzy eksperckiej i nie należało do łatwych zadań. Klasyczna metoda taksonomiczna była pod tym względem mniej skomplikowana. Ponadto należy pamiętać, że uzyskane podziały otrzymano na podstawie pewnego ograniczonego zestawu cech. Zgodnie z założeniem zastosowanej metody doboru miały one reprezentować zmienne, które nie weszły do ostatecznego modelu. Dodatkowo w metodzie ELECTRE TRI nadano wagi poszczególnym zmiennym (kryteriom), co mogło spowodować pewne rozbieżności pomiędzy podejściami klasycznym i wielokryterialnym.

Należy zauważyć, że zastosowane metody nie stanowią dla siebie konkurencji, lecz są wobec siebie komplementarne. Posłużenie się dwiema tak różnymi metodami pozwoliło spojrzeć na zaangażowanie przedsiębiorstw w technologie ICT z punktu widzenia subiektywnego i obiektywnego. Subiektywne ujęcie problematyki dotyczy wyników uzyskanych za pomocą metody ELECTRE TRI, gdyż posługując się tą metodą wiele zależy od preferencji decydenta – od znajomości problematyki po ustawienie parametrów wstępnych badania i wybór ostatecznego podejścia. Natomiast klasyczna metoda taksonomiczna, reprezentująca podejście obiektywne, wymaga jedynie podania liczby klas. Cały proces obliczeniowy odbywa się przy ograniczonym udziale decydenta, który nie ma tak dużego wpływu na końcowe wyniki jak w przypadku metody ELECTRE TRI.

PIŚMIENNICTWO

- Anam R.** 2008. Sektor IT: ocena konkurencyjności 2008. <http://www.egospodarka.pl/34049,Sektor-IT-ocena-konkurencyjnosci-2008,1,39,1.html>, dostęp dn. 29.04.2010 r.
- Anam R.** 2008. Polski rynek IT spowolnił w 2008 r. <http://www.egospodarka.pl/39339,Polski-rynek-IT-spowolnil-w-2008-r,2,39,1.html>, dostęp dn. 29.04.2010 r.
- Dias L., Mousseau V.** 2003. IRIS: A DSS for Multiple Criteria Sorting Problems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 12, 286–287.
- Doumpos M., Zopounidis C.** 2002. Multi-criteria classification methods in financial and banking decision. *Intern. Trans. Opera. Res.* 9, 568–571.
- Drelichowski L.** 2006. Interakcje teorii i praktyki zarządzania wiedzą. *Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą*. <http://www.pszw.edu.pl/LudoslawDrelichowski.pdf:5>, dostęp dn. 11.06.2006 r.

- Dziechciarz J.** 2003. *Ekonometria. Metody, przykłady, zadania*. Wrocław, Wydaw. Akademii Ekonomicznej im. Oskara Lanego we Wrocławiu, 30.
- Fałek P.** 2010. *Inwestycje w nowe technologie*. http://gospodarka.gazeta.pl/firma/1,31560,6090988,Inwestycje_w_nowe_tehnologie.html, dostęp dn. 29.04.2010 r.
- Figueira J.R., Greco S., Roy B.** 2009. ELECTRE methods with interaction between criteria: An extension of the concordance index. *Europ. J. Operat. Res.* 199, 481.
- Grabiński T.** 1992. *Metody aksonometrii*. Kraków, Wydaw. Akademii Ekonomicznej w Krakowie, 124–127.
- Gryfin R.W.** 2002. *Podstawy zarządzania organizacjami*. Warszawa, PWN 730.
- La Gauffre P., Haidar H., Poinard D, Laffrèchine K., Baur R., Schiatti M.** 2007. A multicriteria decision support methodology for annual rehabilitation programs for water networks. *Comp.-Aid. Civ. Infrastruct. Eng.* 22: 479–488.
- Lubelska Agencja Wspierania Przedsiębiorczości.** 2009. http://www.lawp.lubelskie.pl/pdf/ict_definicja.pdf, dostęp dn. 01.12.2009 r.
- Nowak E.** 1990. *Metody taksonomiczne w klasyfikacji obiektów społeczno-gospodarczych*. Warszawa, PWE, 29.
- Roy B.** 1991. The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory Decision* 31 (1), 49–73.
- Roy B., Słowiński R.** 2008. Handling effects of reinforced preference and counter-veto in credibility of outranking. *Europ. J. Operat. Res.* 188, 185.
- Wykorzystanie technologii informacyjno-telekomunikacyjnych w przedsiębiorstwach, gospodarstwach domowych i przez osoby prywatne w 2008 r.** 2008. Warszawa, Główny Urząd Statystyczny, 1–13, http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUBL_NTS_wykorzystanie_tech_infor-telekom_2008.pdf, dostęp dn. 7.09.2009 r.

