



ZASTOSOWANIE MODELOWANIA RÓWNAŃ STRUKTURALNYCH W NAUKACH SPOŁECZNYCH

dr Wojciech Cwalina³

Wprowadzenie

Przedmiotem nauk społecznych jest wyjaśnianie i przewidywanie indywidualnych zachowań człowieka oraz zachowań zbiorowości ludzkich. Poznanie uwarunkowań działań ludzkich jest konieczne do określenia tendencji rozwoju i funkcjonowania tak człowieka, jak i społeczeństw. Umożliwia także odkrycie i opisanie istotnych czynników i zależności, które te tendencje wyznaczają. Dzięki temu mogą być podejmowane optymalne decyzje polityczne czy ekonomiczne, które zawsze wymagają przewidywania z określonym prawdopodobieństwem ich społecznych skutków – nie tylko pod względem jakościowym, ale i ilościowym (Kossecki, 1981). Projektowanie i wdrażanie takich procesów wymaga jednak nie tylko rozpoznania wszystkich elementów składających się na daną sytuację społeczną, lecz również ustalenia wzajemnych powiązań przyczynowo-skutkowych między tymi elementami.

Wiele projektów badawczych prowadzonych w naukach społecznych dąży do zidentyfikowania i uwzględnienia wielu różnych zmiennych, aby w oparciu o ich statystyczną analizę móc wyprowadzać trafne i rzetelne wnioski. Sytuacja taka wymusza z jednej strony wykorzystywanie odpowiednich, często mało znanych i matematycznie zaawansowanych technik statystycznych (zob. np. Brzeziński, 1987; Loehlin, 1987; Mynarski, 1992). Ale wymaga też świadomości metodologicznej w zakresie prawidłowego stosowania tych technik, jak i właściwego planowania i realizowania badań (Brzeziński, 1992; 1996).

Złożoność badanej rzeczywistości skłania do coraz powszechniejszego posługiwania się w naukach społecznych zaawansowanymi procedurami statystycznymi pozwalającymi na przyczynową analizę relacji między zmiennymi. Do grupy takich technik należy, stosunkowo mało rozpowszechniona w Polsce, analiza równań strukturalnych.

Modelowanie równań strukturalnych jako technika analizy danych

Analiza równań strukturalnych (tzw. analiza ścieżek; *structural equation modeling* czy *path analysis*) jest jedną z najlepiej opracowanych technik z rodziny metod interpretacji przyczynowej opartych na statystycznej analizie danych. O jej rozpowszechnieniu świadczy fakt, że jest dostępna, w różnych odmianach, w wielu pakietach statystycznych (zob. Loehlin, 1987; *Modelowanie równań strukturalnych*, 1997). Mimo iż jest to technika dosyć powszechnie stosowana przez przedstawicieli nauk społecznych (marketingowców, socjologów, psychologów, politologów etc.), zwłaszcza

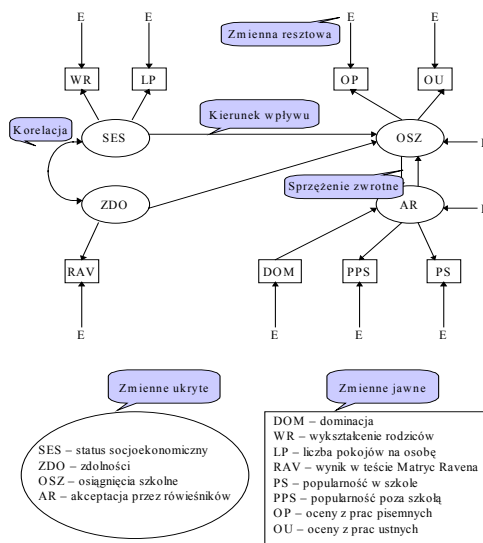
³ Katedra Psychologii Eksperymentalnej, Katolicki Uniwersytet Lubelski.

w Stanach Zjednoczonych, jak do tej pory w Polsce doczekała się omówienia zaledwie w jednej publikacji autorstwa Gaula i Machowskiego (1987).

Rodzaje zmiennych w modelowaniu strukturalnym

W modelowaniu strukturalnym wyodrębnia się dwa specyficzne, krzyżujące się kryteria opisujące zmienne, które są przedmiotem analiz.

Równania strukturalne pozwalają na uwzględnienie w analizie statystycznej, oprócz *zmiennych obserwowalnych, jawnych* i mierzonych podczas badania (zaznaczone w prostokątach na rys. 1), również *zmiennych nieobserwowalnych, ukrytych (latent variables)*. Nie są one bezpośrednio mierzone w badaniu, lecz są wyprowadzane z teorii i mogą wywierać wpływ na wyodrębnienie istotnych związków przyczynowych przewidywanych przez eksperymentatora (na rys. 1 otoczone elipsą). Wzór zależności pomiędzy zmiennymi ukrytymi w każdym przypadku określa efekty przyczynowe z wariancji nie wyjaśnionej (Loehlin, 1987).



Rys. 1. Przykładowy model ścieżek w odniesieniu do desegregacji w szkołach (na podstawie Loehlin, 1987; s. 77)

Ponadto rozróżnia się także dwa rodzaje zmiennych:

- ♦ *egzogeniczne* („o źródłach zewnętrznych”), których zmienność zdeterminowana jest przyczynami leżącymi poza modelem, tzn. takimi, które nie są wyjaśniane przez inne zmienne w modelu. Są one zawsze zmiennymi niezależnymi, tzn. strzałki na diagramie zawsze wychodzą od nich, lecz nigdy nie są ku nim zwrócone. Na rysunku 1 takimi zmiennymi są SES, ZDO i DOM.
- ♦ *endogeniczne* („o źródłach wewnętrznych”), których zmienność jest wyjaśniana oddziaływaniem innych zmiennych z modelu – tak egzogenicznych, jak i endogenicznych. Są one zawsze zależne od innych zmiennych. Na rysunku 1 są to wszystkie zmienne oprócz SES, ZDO i DOM.



Z uwagi na powyższe dwa kryteria podziału dowolna zmienna może być zaklasyfikowana do jednej z czterech kategorii: (1) jawna endogeniczna; (2) jawna egzogeniczna; (3) ukryta endogeniczna lub (4) ukryta egzogeniczna. Poprawna identyfikacja rodzaju zmiennych, które badacz wprowadza do modelu strukturalnego jest niezbędna dla prawidłowego przeprowadzenia planowanych analiz.

Oprócz rzeczywiście analizowanego modelu wprowadza się do niego tzw. zmienne resztowe (*residual*), najczęściej oznaczane literą „E”. Określa się je również jako wariancję resztową. Odzwierciedlają one wpływ tych zmiennych, które nie są objęte analizą. Jest to zgodne z założeniem, że badacz nigdy nie będzie mógł wyjaśnić do końca wariancji całkowitej danej zmiennej przy pomocy zmiennych wyszczególnionych w modelu.

Przyczynowość w modelu równań strukturalnych

Loehlin (1987, s. 4) uważa, że w przypadku modeli ścieżek nie ma potrzeby, aby przyjmować jakąś ścisłą czy nazbyt wąską definicję „przyczynowości”, ponieważ odzwierciedlane są w nich przyczyny różnych rodzajów. Jednak Gaul i Machowski (1987, s. 86) proponują w tym względzie przyjęcie „operacyjnej” definicji przyczynowości, według której „ X_i jest przyczyną X_j wtedy i tylko wtedy, gdy X_j można zmienić przez manipulację X_i i to samym X_i ”. Pojęcie predykcji opiera się więc na pojęciu możliwej manipulacji. Dla rozstrzygającego stwierdzenia, że X_i jest przyczyną X_j , należałoby zatem przeprowadzić idealny eksperyment, w którym wszystkie pozostałe zmienne zostają ustalone na początku, a następnie wprowadza się zmiany tylko w zakresie X_i . Jeżeli związek przyczynowy występuje, to zmianom w X_i powinny odpowiadać zmiany w X_j (mogą również pojawić się zmiany w innych zmiennych). Problemem, który się tu wyłania jest jednak fakt, że analiza ścieżek stosowana jest przeważnie w badaniach nieeksperymentalnych, gdzie niemożliwa jest w pełni kontrolowana manipulacja (zob. Brzeziński, 1996; Ferguson, Takane, 1997). Toteż otrzymany w jej ramach model ma charakter jedynie quasi-dedukcyjny. Oznacza to, że pozytywna weryfikacja modelu nie jest dowodem, że zakładane w modelu relacje przyczynowe rzeczywiście występują, a jedynie, że model **może** być prawdziwy. Z kolei niepotwierdzenie przewidywań nie oznacza, że model jest z pewnością błędny, lecz tylko, że prawdopodobieństwo jego słuszności jest znikome (Gaul, Machowski, 1987). Innymi słowy, to, na co faktycznie pozwala przyczynowe modelowanie strukturalne, to badanie, do jakiego stopnia dane nie zgadzają się z pewną sensowną konsekwencją modelu przyczynowości. Jeśli układ równań liniowych, izomorficzny z diagramem ścieżkowym (zakładanym przez badacza), „pasuje” dobrze do danych, to popiera on, ale nie dowodzi prawdziwości modelu przyczynowego (*Modelowanie...*, 1997).

W analizie ścieżek związki przyczynowe między zmiennymi wyraża się za pomocą tzw. współczynnika ścieżki (*path coefficient*). Może on być wystandaryzowany (wariancja równa jest 1) lub nie. W tym pierwszym przypadku współczynnik ścieżki informuje o tym, o ile zmieni się zmienna X_j (skutek), gdy zmienna X_i (przyczyna) zmieni się o jednostkę. W przypadku braku standaryzacji, współczynnik ten określany jest również jako regresyjny współczynnik ścieżki (Gaul, Machowski, 1987). Loehlin (1987, s. 29) zaleca, aby standaryzacje przeprowadzać przy porównaniach między zmiennymi, natomiast zaniechać jej przy porównywaniu różnych populacji.

Założenia analizy ścieżek

U podstaw modelu analizy ścieżek leży sześć podstawowych założeń (szczegółowe omówienie zob. Gaul, Machowski, 1987, s. 89):

1. Relacje między zmiennymi wprowadzanymi do modelu są przyczynowe.
2. Relacje między zmiennymi wprowadzanymi do modelu są liniowe lub, co sugeruje Loehlin (1987), aproksymowane do liniowości.



3. Relacje między zmiennymi wprowadzanymi do modelu są addytywne, tzn. zmienne te nie są skorelowane.
4. Zmienne resztowe (E) nie są skorelowane ani ze sobą (ich kowariancja jest równa 0), ani ze zmiennymi poprzedzającymi je w modelu (wpływającymi na zmienną, której dotyczą).
5. Skorelowanie zmiennych egzogenicznych traktowane jest jako „dane”, nie spowodowane wspólną przyczyną i pozostaje poza analizą (na rys. 1 sytuację tę przedstawia krzywa zakończona dwoma grotami łącząca SES i ZDO).
6. Zmienne włączone do modelu mierzone są na skali interwałowej.

Niektóre z powyższych założeń mogą zostać jednak uchylone, a model ścieżek będzie nadal „rozwiązywalny”. Opracowane są odmiany modelowania strukturalnego dopuszczające nieaddytywność (interakcje między zmiennymi) – założenie 3, sprzężenia zwrotne – założenie 5 czy dopuszczające dane typu porządkowego – założenie 6 (zob. Gaul, Machowski, 1987; Loehlin, 1987).

Modelowanie strukturalne pozwala testować czy zbiór wariancji i kowariancji w macierzy kowariancji pasuje do struktury zakładanej przez badacza. To znaczy badacz konstruuje najpierw model zupełny i oblicza dla niego współczynniki ścieżek. Następnie zgodnie z przyjętym kryterium eliminuje nieistotne ścieżki z modelu i na koniec sprawdza, jak zredukowany model reprodukuje macierz korelacji. Reprodukacja ta jest najpowszechniej oceniana przy pomocy testu χ^2 , gdzie brak jego istotności wskazuje na dobre dopasowanie modelu do danych wejściowych (Gaul, Machowski, 1987; Loehlin, 1987; inne wskaźniki dopasowania zob. *Modelowanie...*, 1997)

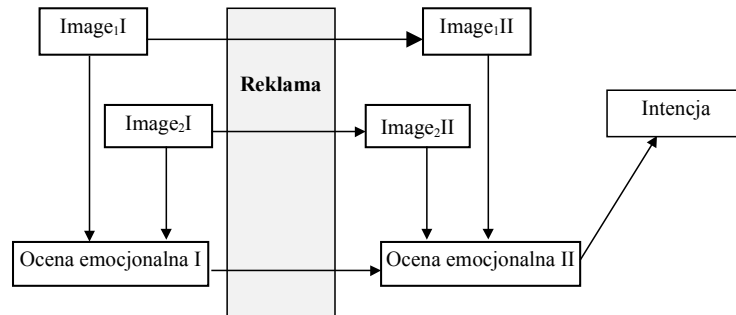
Analiza ścieżek wykorzystuje liniowe równania strukturalne, co zbliża ją do analizy regresji wielokrotnej. Wynikają z tego pewne ograniczenia interpretacyjne. Tak jak w przypadku analiz regresyjnych należy pamiętać, że (1) w rzeczywistości związki między zmiennymi mogą być nieliniowe oraz (2) mogą one być liniowo powiązane z powodów nie tyle przyczynowości, co współzmienności (korelacja) (*Modelowanie...*, 1997). Gaul i Machowski (1987) dowodzą jednak, iż model analizy ścieżek zdecydowanie przewyższa analizę regresji i jest metodą bardziej adekwatną do analizowania relacji przyczynowych. Wynik analizy strukturalnej nie zależy bowiem od kolejności wprowadzania zmiennych do modelu i nie wymaga przyjęcia uproszczonej struktury relacji między tymi zmiennymi, dzięki czemu możliwa jest analiza efektów bezpośrednich i pośrednich wiążących zmienne. Tym samym model analizy ścieżek wolny jest od arbitralnej hierarchii istotnościowej. W przeciwieństwie do równań regresji, analiza ścieżek jest swoistą metodą testowania teorii proponowanej przez badacza, gdyż weryfikowana struktura zależności przyczynowych powstaje wyłącznie jako konsekwencja takiej teorii.

Przykład analizy ścieżek: emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamy polityczne⁴

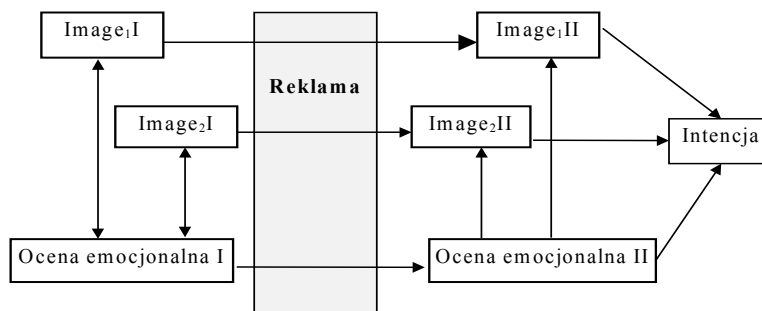
W oparciu o cztery psychologiczne teorie ujmujące relacje między procesami poznawczymi i emocjonalnymi człowieka sformułowano modele opisujące, w jaki sposób wyborca może reagować na reklamy polityczne kandydatów na urząd prezydenta, które były emitowane podczas kampanii prezydenckiej w Polsce w 1995 roku. Są to: (1) model radykalnego konstruktywizmu emocjonalno-poznawczego – rysunek 2; (2) model umiarkowanego konstruktywizmu emocjonalno-poznawczego, który zakłada dwojakiego rodzaju procesy oceny społecznej: (a) w oparciu o etykietę kategorii

⁴ Analiza przypadku została zaczerpnięta z: Cwalina W., (2000).

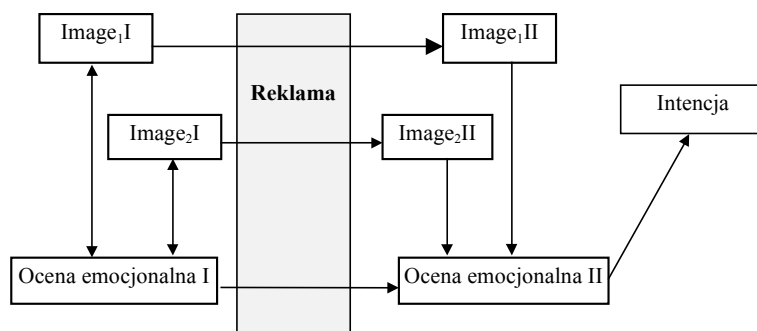
społecznej, do której należy oceniana osoba oraz (b) w oparciu o szczegółową analizę atrybutów (cech) ocenianej osoby – rysunki 3a i 3b; (3) model radykalnego realizmu emocjonalno-poznawczego – rysunek 4; (4) model umiarkowanego realizmu emocjonalno-poznawczego – rysunek 5.



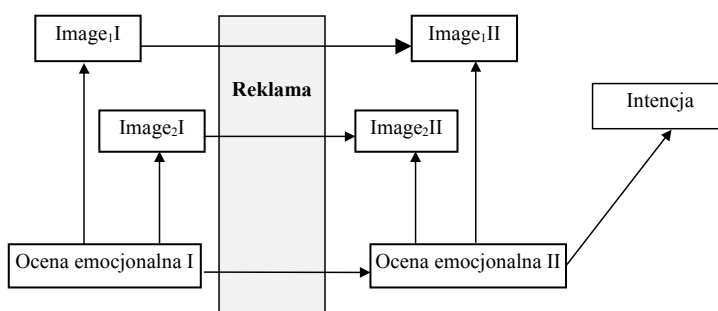
Rys. 2. Emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamę w ujęciu konstruktywistycznym



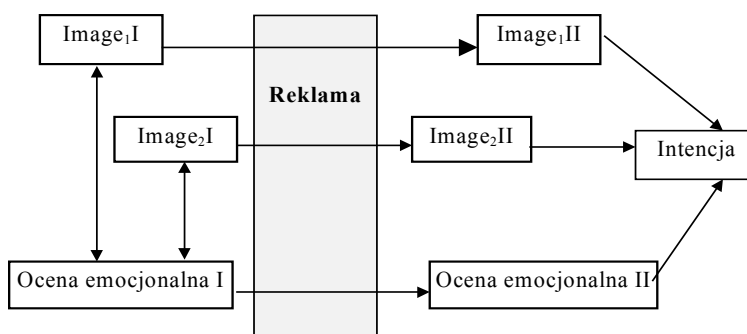
Rys. 3a. Emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamę w oparciu o etykietę kategorialną danego polityka: ujęcie umiarkowanie konstruktywistyczne



Rys. 3b. Emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamę poprzez oddzielną ocenę każdego atrybutu danej kategorii (image'u) polityka: ujęcie umiarkowanie konstruktywistyczne



Rys. 4. Emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamę w ujęciu realistycznym



Rys. 5. Emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamę w ujęciu umiarkowanego realizmu

W celu empirycznej weryfikacji tych modeli przeprowadzono badania empiryczne według procedury eksperymentalnej, tzw. pomiarów przed i po ekspozycji bodźca (*before-and-after measures*). Procedura ta jest również określana jako plan quasi-eksperymentalny z pomiarem początkowym

i końcowym (Brzeziński, 1996). Uzyskane wyniki poddano następnie modelowaniu strukturalnemu. W tym celu posłużono się modulem SEPATH dostępnym w pakiecie statystycznym *STATISTICA*.

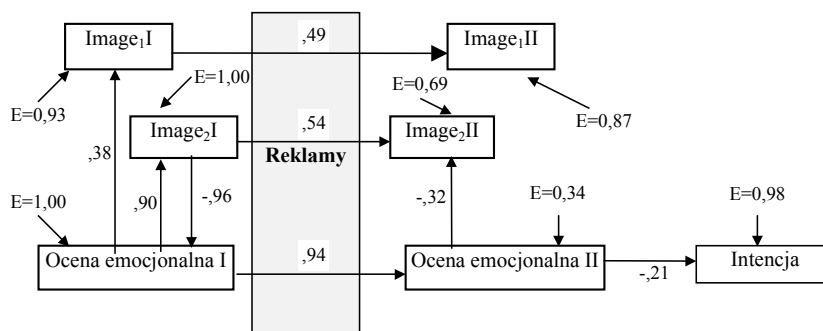
W odniesieniu do obu głównych kandydatów na urząd prezydenta RP – Lecha Wałęsy i Aleksandra Kwaśniewskiego – uzyskano taki sam wzorzec reakcji na przekazy promocyjne polityków. Rysunki 6 i 7 przedstawiają te zależności bardziej szczegółowo, na przykładzie reakcji na reklamy Aleksandra Kwaśniewskiego.

Tylko w tych dwóch przypadkach modele równań strukturalnych reprodukują wyjściowe macierze korelacji w sposób statystycznie zadowalający (brak istotnych różnic w teście χ^2 pomiędzy pierwotną macierzą korelacji i macierzą zrekonstruowaną na podstawie modelu). Pozostałe modele nie spełniają wymogów dobrego dopasowania.

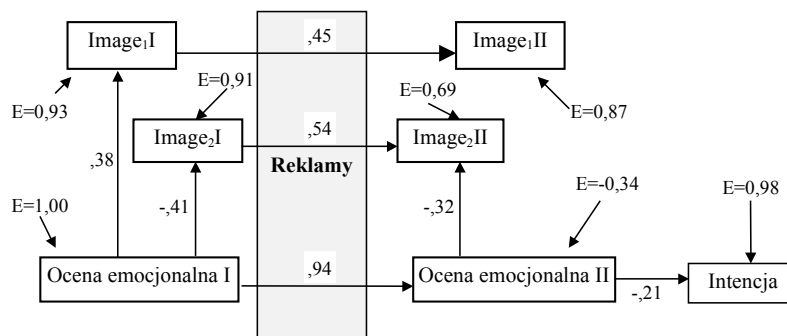
Pozytywnie zweryfikowane modele to:

1. umiarkowanie konstruktywistyczny model emocjonalno-poznawczej reakcji na reklamy Kwaśniewskiego w oparciu o etykietę kategoryjną „kandydat na prezydenta” – rys. 6 ($\chi^2=21,113$; $df=14$; $p=0,099$);
2. model emocjonalno-poznawczej reakcji na reklamy Aleksandra Kwaśniewskiego w ujęciu realistycznym – rys. 7 ($\chi^2=18,998$; $df=13$; $p=0,123$).

Modele te nie różnią się między sobą w sposób statystycznie istotny [$\chi^2_{diff}(1)=2,115$; gdzie dla pierwszego modelu $\chi^2(14)=21,113$, a dla drugiego $\chi^2(13)=18,998$]. Można więc traktować je jako w równym stopniu dopasowane do danych wyjściowych.



Rys. 6. Emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamy A. Kwaśniewskiego w oparciu o etykietę kategoryjną (umiarkowany konstruktywizm): wyniki analizy ścieżek ($\chi^2=21,113$; $df=14$; $p=0,099$; n.i.; po usunięciu ścieżek nieistotnych statystycznie)



Rys. 7. Emocjonalno-poznawcza reakcja na reklamy A. Kwaśniewskiego w ujęciu realistycznym: wyniki analizy ścieżek ($\chi^2=18,998$; $df=13$; $p=0,123$)

Reakcję emocjonalno-poznawczą na reklamy Kwaśniewskiego w oparciu o etykietę kategorii „kandydat na prezydenta” można przedstawić jako przyczynowy ciąg procesów psychicznych, które zachodzą u widza. Wyborca oglądający telewizyjne reklamy Aleksandra Kwaśniewskiego posiada już wcześniej ukształtowaną kategorię dotyczącą tego polityka jako kandydata na urząd prezydenta Polski. Poszczególne atrybuty prezentowanego image’u (zdecydowanie przywódcze i nowoczesność czy „europejskość; na rysunkach 6 i 7 odpowiednio Image 1 i Image 2) są silnie związane z etykietą kategoryjną o określonej walencji afektywnej. Przy czym, ogólne ustosunkowanie się emocjonalne skojarzone z etykietą kategoryjną wpływa na znaki emocjonalne obu grup atrybutów, lecz jedynie nowoczesność, akcentowana w wizerunku Kwaśniewskiego, wywiera istotny wpływ na walencję etykiety. Reklama telewizyjna skłania wyborców do reagowania na nią w oparciu o etykietę, a nie poprzez analizę i sumowanie znaków afektywnych poszczególnych atrybutów. Przekaz promocyjny wywiera wpływ tak na zmiany w stosunku emocjonalnym wobec kandydata, jak również na zmiany w percepcji jego image’u. Dodatkowym czynnikiem powodującym przewartościowanie atrybutów wizerunku polityka, zgrupowanych na wymiarze opisującym jego „europejskość”, jest ocena emocjonalna kandydata dokonywana po obejrzeniu reklam. Warunkuje ona także preferencje wyborcze, czyli prowadzi do poparcia lub odrzucenia Kwaśniewskiego jako kandydata na prezydenta.

Model realistyczny oddziaływania reklam na preferencje wyborcze zakłada wcześniejszą wiedzę na temat Aleksandra Kwaśniewskiego zorganizowaną w oparciu o wymiary percepcyjne jego image’u - zdecydowane przywództwo i nowoczesność. Wiedza ta została ukształtowana przez wcześniejszą percepcję i ocenę emocjonalną. Pierwotną reakcją wyborcy na reklamę tego kandydata jest również ocena emocjonalna dotycząca pozytywnego bądź negatywnego stosunku do polityka. Na jej podstawie wyborca ocenia pod kątem poznawczym walory reklamowanego kandydata, ale tylko dotyczące „europejskości” Kwaśniewskiego. Wpływ na intencję wyborczą mają jednak wyłącznie czynniki afektywne. Wyznaczają one kierunek reakcji „do” lub „od” danego polityka.

Podsumowanie

Zastosowanie modelowania równań strukturalnych w naukach społecznych jest jedną z najbardziej obiecujących technik statystycznych pozwalających na analizę relacji przyczynowych w określonym



przez badacza zbiorze zmiennych. Mimo iż dla wielu naukowców metoda ta jest znana i chętnie wykorzystywana, wydaje się, że jej znajomość w Polsce jest ciągle śladowa.

Można jedynie mieć nadzieję, że rozpowszechnienie pakietów statystycznych, które w swej ofercie zawierają analizę ścieżek, takich jak *STATISTICA*, pozwoli na wzrost świadomości metodologicznej polskich badaczy zjawisk społecznych oraz na rozwój wielu nowych obszarów analiz.

Literatura

1. Brzeziński (red.) (1987), Wielozmiennowe modele statystyczne w badaniach psychologicznych. Warszawa: PWN.
2. Brzeziński, J. (1992). Proces badawczy w psychologii w kontekście świadomości metodologicznej badacza. *Psychologia Matematyczna*, 6, 5-30.
3. Brzeziński, J. (1996). Metodologia badań psychologicznych. Warszawa: PWN.
4. Cwalina, W. (2000). Telewizyjna reklama polityczna: Emocje i poznanie w kształtowaniu preferencji wyborczych. Lublin: TN KUL.
5. Ferguson, G.A., Takane, Y. (1997). Analiza statystyczna w psychologii i pedagogice. Warszawa: PWN.
6. Gaul, M., Machowski, A. (1987). Elementy analizy ścieżek. [w:] J. Brzeziński (red.), Wielozmiennowe modele statystyczne w badaniach psychologicznych, (82-112). Warszawa: PWN.
7. Kossecki, J. (1981). Cybernetyka społeczna. Warszawa: PWN.
8. Loehlin, J.C. (1987). Latent variable models: An introduction to factor, path, and structural analysis. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
9. Modelowanie równań strukturalnych (1997). [w:] *STATISTICA* PL dla Windows (Tom III): Statystyki II, (3531-3682). Kraków: StatSoft Polska.
10. Mynarski, S. (red.) (1992). Badania przestrzenne rynku i konsumpcji. Przewodnik metodyczny. Warszawa: PWN.