

Łukasz Skowron, Marcin Gašior

Politechnika Lubelska

e-mails: lukasz.m.skowron@gmail.com; m.gasior@pollub.pl

WPLYW LICZEBNOŚCI PRÓBY I METODY ZASTĘPOWANIA BRAKÓW ODPOWIEDZI NA MIARY DOPASOWANIA ORAZ WYNIKI MODELOWANIA ŚCIEŻKOWEGO

INFLUENCE OF A SAMPLE SIZE AND A METHOD OF HANDLING MISSING VALUES ON THE RESULTS AND GOODNESS OF FIT OF THE PATH RELATION MODEL

DOI: 10.15611/ekt.2016.3.04

JEL Classification: C3, C8

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienie wpływu liczebności próby badawczej oraz wyboru określonej metody zastępowania braków odpowiedzi na miary dopasowania oraz wyniki zbudowanego modelu ścieżkowego. Oceniając miary stabilności modelu, autorzy posłużyli się zarówno wskaźnikami opisującymi stabilność wewnętrzną modelu (alfa Cronbacha, rzetelność łączna), jak również jego stabilność zewnętrzną (R^2). Przez pojęcie wyników modelowania ścieżkowego rozumie się uzyskane miary zależności ścieżkowych oraz wartości indeksów poszczególnych modułów omawianego modelu. W prezentowanym badaniu zanalizowano wyniki modelowania ścieżkowego przeprowadzonego z wykorzystaniem metody PLS w obszarze poziomu satysfakcji i lojalności klientów lubelskiego sektora wielkopowierzchniowych centrów handlowych. Do badania ostatecznie włączono 43 zbiory przypadków, zróżnicowane pod względem liczebności oraz stosowanej metody zastępowania braków odpowiedzi. Uzyskane wyniki pozwoliły na weryfikację statystyczną głównego problemu badawczego, a także umożliwiły autorom ocenę rynkowej aplikacyjności omawianych metod stosowanych w diagnozie problemów marketingowo-zarządczych przedsiębiorstw. Badania dowiodły, że najczęściej ze wszystkich rozpatrywanych metod największy poziom stabilności modelu przynosi zastosowanie metod *Predictive Mean Matching* oraz CART. Niemniej obserwowane różnice w wynikach są na tyle niewielkie, iż raczej nie przekładają się na praktyczną interpretację modelu, a tym samym modelowanego zjawiska.

Słowa kluczowe: modelowanie ścieżkowe, SEM, PLS, braki danych, liczebność próby.

Summary: In the following article the authors describe the problem of influence of a sample size and a method of handling missing values on the results and goodness of fit of the path relation model. In order to estimate the goodness of fit of the model the authors use the indicators which describe the internal (Cronbach's Alfa, Composite Reliability) and external

(R^2) stability of the model. By the term “results of the models” the authors mean estimated index values for latent variables and path coefficients of the SEM modeling procedure. In the research the authors analysed outcomes of Partial Least Squares method, used to build a model of Lublin shopping malls sector customers’ satisfaction and loyalty. The research included 43 datasets that varied in a number of observations and a method used for solving the missing values problem. Obtained results not only allowed the authors to statistically verify the main research problem of the study, but also enabled researchers to evaluate practical applicability of the analyzed imputation methods in real market and business consultancy activities. The research showed the supremacy of the Predictive Mean Matching and CART algorithms over other methods in the majority of analyzed ceases. Nevertheless, the differences between obtained results were rather insignificant, so one may assume that there is no visible influence of the used method on the practical interpretation of the obtained model and analyzed phenomenon.

Keywords: path relation model, SEM, PLS, data gaps, sample size.

1. Wstęp

Problem braków danych, rozumiany jako brak całego przypadku (brak udziału – *unit non-response*) lub brak odpowiedzi na część pytań (*item non-response*), jest dość dobrze opisany w literaturze przedmiotu zarówno w zakresie klasyfikacyjnym (np. [Anderson, Basilevsky, Hum 1983; Heitjan, Basu 1996; Allison 2002]), jak również opisu metod i narzędzi służących do estymowania brakujących wartości (np. [Pigott 2001; Graham 2012; Graham, Cumsille, Elek-Fisk]). W niniejszym artykule autorzy skoncentrowali się na zagadnieniu braków odpowiedzi w kontekście analizy zależności ścieżkowych (SEM – *Structural Equation Modeling*). Założenia metodologiczne w przypadku metod wykorzystywanych do analizy SEM (zarówno *Partial Least Squares*, jak i LISREL) przed rozpoczęciem procesu analitycznego zobowiązują badacza do pominięcia przypadków niekompletnych lub zastąpienia braków odpowiedzi w analizowanym zbiorze danych empirycznych jakąś konkretną liczbą. Istotna z czysto naukowego i rynkowego punktu widzenia jest zatem możliwość odpowiedzi na dwa zasadnicze pytania:

1. Czy wybór metody zastępowania braków danych wpływa na stabilność statystyczną założonego modelu badawczego?

2. Czy różne metody zastępowania braków danych mogą w znaczny sposób zmienić kształt i charakter przedstawionego na modelu badawczym procesu, co skutkowałoby różnymi wnioskami natury zarządczo-marketingowej?

W celu oceny wpływu liczebności próby i metody zastępowania braków odpowiedzi na stabilność oraz wyniki modelowania ścieżkowego przygotowano i przeanalizowano model służący do pomiaru poziomu satysfakcji i lojalności klientów w obrębie sektora wielkopowierzchniowych centrów handlowych działających na terenie miasta Lublin. Na potrzeby analityczne niniejszego opracowania ze zbioru wszystkich respondentów, którzy wzięli udział w edycji badania przeprowadzonej

w 2013 r., wytypowano osiem prób badawczych; były to: próba bez braków odpowiedzi (371 przypadków), próba wszystkich obserwacji, licząca 1375 przypadków, oraz po dwie próby wybrane w sposób losowy z całego zbioru obserwacji, zawierające braki odpowiedzi, odpowiednio o liczebności 50, 150 oraz ponad 300 obserwacji. W każdej z badanych prób braki odpowiedzi dla kolejnych zmiennych zawierały się w przedziale od 1,7 do 11,3%.

Test Little'a [Little 1988], prowadzony dla całej pozyskanej próby, nie uprawomocnił przyjęcia hipotezy o istnieniu kompletnie losowego rozkładu braków danych (MCAR). W związku z tym na potrzeby analiz przyjęto założenie o istnieniu braków o charakterze MAR (*Missing at Random*), ponieważ, zgodnie z postulatem J.L. Schafera i J.W. Grahama [Schafer, Graham 2002], jedynym, poza budową co do zasady nieweryfikowalnego modelu, sposobem rozróżnienia między brakami MAR i MNAR jest pozyskanie i ocena brakujących wartości, zaś – jak dowiedli L.M. Collins, J.L. Schafer i C.M. Kam [Collins, Schafer, Kam 2001], w warunkach praktycznych błędne założenie o MAR ma zwykle niewielki wpływ na estymację oraz jej błąd.

Następnie na potrzeby omawianego badania w każdej z prób zawierających braki zostały one zastąpione wartościami wyznaczonymi poprzez zastosowanie jednej z sześciu wybranych metod, wśród których znalazły się średnia arytmetyczna odpowiedzi, mediana, algorytm EM, PMM oraz CART, jak również metoda zastępowania braków całkowitą liczbą losową z przedziału zgodnego ze stosowaną skalą. Autorzy badania zdecydowali się na zastosowanie omawianych metod imputacji braków odpowiedzi ze względu na ich największą popularność i dość powszechne występowanie zarówno w literaturze przedmiotu, jak również w praktyce rynkowej. Należy przy tym zaznaczyć, iż każda z wymienionych metod ma swoje odrębne wymagania i własności, od których spełnienia zależy skuteczność osiągnięcia założonych przez badaczy celów (np. niezmiennosc średniej, niezmiennosc rozkładu cechy, niezmiennosc korelacji z innymi cechami itp.). W niniejszym opracowaniu autorzy nie koncentrowali się na szczegółowej charakterystyce każdej z omawianych metod, a jedynie na uzyskiwanych dzięki zastosowanym rozwiązaniom wynikach modelowania ścieżkowego. Takie podejście wynika z powszechności stosowania omawianych metod imputacji w praktyce biznesowej, co spowodowało chęć porównania analizowanych rozwiązań w perspektywie jednego zunifikowanego zbioru danych empirycznych.

Po uzupełnieniu braków odpowiedzi w wyznaczonych zbiorach przeprowadzono analizę modelowania ścieżkowego (z wykorzystaniem metody PLS), co umożliwiło autorom stworzenie macierzy wyników miar stabilności zewnętrznej i wewnętrznej modelu oraz wartości relacji ścieżkowych i indeksów modułów modelu w zależności od liczebności próby oraz zastosowanej metody imputacji braków.

2. Problem badawczy, model i próba badawcza

2.1. Problem badawczy i przebieg badania

Pierwotnym problemem badawczym był pomiar poziomu satysfakcji i lojalności klientów lubelskiego sektora wielkopowierzchniowych centrów handlowych¹.

Wykorzystany w niniejszym artykule do celów analitycznych materiał empiryczny został pozyskany drogą audytoryjną z wykorzystaniem kwestionariusza ankiety w formie papierowej, który został rozdany w okresie sierpień-październik 2013 r. kwotowej próbie mieszkańców Lublina. Kwestionariusz ankiety zawierał łącznie 137 zmiennych przedstawionych w formie poszczególnych pytań badawczych, z czego 66 użyto do budowy modelu ścieżkowego na potrzeby niniejszego artykułu.

Ostatecznie do etapu analitycznego zakwalifikowano 1375 obserwacji.

2.2. Próba badawcza

Jak wspomniano, w procesie badawczym uzyskano 1375 prawidłowo wypełnionych kwestionariuszy ankiety. Dodatkowo na potrzeby niniejszego opracowania w sposób losowy wybrano spośród całej próby badawczej każdorazowo po dwa zbiory zawierające odpowiednio 50, 150 oraz 300 obserwacji² (zdecydowano się poddać badaniu po dwa różne zbiory dla każdej liczebności prób celem minimalizacji przypadkowości uzyskanych wyników względem dokonanego doboru)³. Ponadto wyznaczono zbiór przypadków kompletnych – próbę 371 obserwacji, w których nie występują żadne braki odpowiedzi.

Następnie w próbach zawierających braki (łączny zbiór przypadków – 1375 osób oraz po dwie próby dla 300, 150 oraz 50 osób) brakujące wartości zastąpione zostały sześcioma metodami, często wskazywanymi w literaturze przedmiotu. Do wybranych metod zastępowania braków wytypowano⁴:

- zastąpienie braku średnią arytmetyczną,
- zastąpienie braku medianą,

¹ Prezentowane dane stanowią element badań własnych autorów prowadzonych w ramach grantu naukowego NCN (2011/03/D/HS4/04311).

² Autorzy mają świadomość ograniczeń wnioskowania bazującego na analizie jedynie dwuelementowej próby poszczególnych zbiorów o danej liczebności, lecz ze względów praktycznych zastosowanie innych rozwiązań okazało się niewykonalne (objętość artykułu uniemożliwiła prezentację wyników opracowanych dla wieloelementowych zbiorów prób o danej liczebności obserwacji).

³ Na potrzeby losowego doboru przypadków do prób 50-, 150- i 300-osobowych wykorzystano generator losowania prostego bez powtórzeń przy założeniu określonej liczebności zbioru docelowego. Użyty generator liczb losowych był certyfikowany zgodnie z wytycznymi DIEHARD [Marsaglia, Tsang 1998]. Omawiane rozwiązanie stanowi standardowe narzędzie doboru losowego w programie Statistica for Windows.

⁴ W nawiasach podano źródła literaturowe opisujące podstawy metodologiczne stosowanych rozwiązań algorytmicznych oraz przybliżające zalety, wady i założenia stosowania poszczególnych wykorzystanych metod.

- algorytm *Expectation – Maximization* (EM), np.: [Dempster, Laird, Rubin 1977; McLachlan, Krishnan 1997; Magiera 2002; Huptas 2010],
- algorytm *Predictive Mean Matching* (PMM), np.: [Rubin 1986; Little, Rubin 1987; Little 1988],
- algorytm drzewa klasyfikacyjnego i regresyjnego – CART, np.: [Breiman i in. 1984; Ripley 1996; Timofeev 2004; Hastie, Tibshirani, Friedman 2009],
- zastępowanie braków całkowitą liczbą losową z przedziału zgodnego ze stosowaną skalą (w tym przypadku 1-10), np.: [Chen, Rao, Sitter 2000; Chauvet, Deville, Haziza 2011].

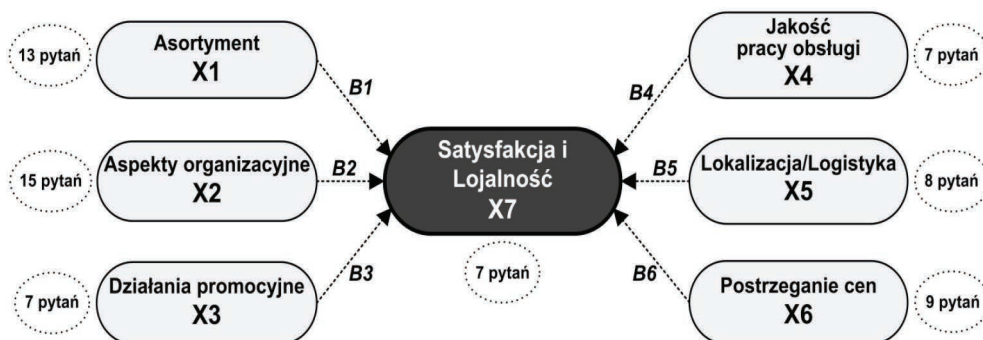
W wyniku przeprowadzenia opisanych operacji ostatecznie badaniu poddano 43 próby badawcze (sześć dla całego zbioru przypadków, po dwanaście dla prób 50-, 150- i 300-osobowych oraz zbiór przypadków kompletnych).

2.3. Model i metoda badawcza

Do celów analitycznych w omawianym badaniu autorzy posłużyli się metodą modelowania ścieżkowego z wykorzystaniem analizy *Partial Least Squares* (PLS-SEM). Ramowy model badawczy przedstawiono na rys. 1. Jak już wspomniano, do budowy modelu ścieżkowego wykorzystano łącznie 66 zagadnień problemowych przedstawionych w formie pytań kwestionariuszowych przyporządkowanych odpowiednio do siedmiu głównych modułów analitycznych modelu.

Za wyborem opisanej metody analitycznej przemawiają główne zalety (możliwości) modelowania ścieżkowego PLS-SEM w porównaniu z klasycznymi metodami pomiarowymi [Skowron 2010]:

- przedstawienie w strukturze przyczynowo-skutkowej wieloaspektowych procesów budowy zjawiska satysfakcji i lojalności klientów,
- wyznaczenie poziomów związków relacyjnych występujących między poszczególnymi modułami budowanego modelu,



Rys. 1. Struktura ramowa modelu badawczego

Źródło: opracowanie własne.

- wyznaczenie wartości wag przypisanych przez badanych respondentów poszczególnym kwestiom problemowym analizowanym w ramach każdego z modułów modelu,
- wyznaczenie miary stabilności (zewnętrznej i wewnętrznej) modelu do pozyskanych w ramach procesu badawczego danych empirycznych (np. R^2 , alfa Cronbacha, rzetelność łączna).

3. Wyniki empiryczne

3.1. Miary wewnętrznej i zewnętrznej stabilności modelu

W tabelach 1-2 przedstawiono wyniki miar stabilności modelu ścieżkowego (wewnętrzne – tab. 1, zewnętrzne – tab. 2) dla poszczególnych poddanych badaniu prób.

Tabela 1. Uzyskane zakresy miar współczynników rzetelności łącznej i alfa Cronbacha (dla analizowanych siedmiu modułów omawianego modelu badawczego – zob. rys. 1)

Zbiór	Metoda zastępowania braków	Rzetelność łączna					Alfa Cronbacha				
		50 osób	150 osób	300 osób	1375 osób	Bez braków	50 osób	150 osób	300 osób	1375 osób	Bez braków
I	śr. arytm.	0,85-0,9	0,86-0,92	0,85-0,93	0,85-0,93	0,86-0,94	0,79-0,88	0,8-0,9	0,8-0,91	0,8-0,91	0,82-0,93
	mediana	0,85-0,9	0,85-0,92	0,85-0,93	0,85-0,93		0,79-0,88	0,8-0,91	0,8-0,91	0,81-0,91	
	alg. EM	0,85-0,9	0,86-0,92	0,85-0,93	0,85-0,93		0,79-0,88	0,8-0,91	0,8-0,91	0,8-0,91	
	CART	0,84-0,91	0,86-0,93	0,85-0,93	0,86-0,93		0,78-0,89	0,8-0,91	0,79-0,91	0,81-0,91	
	PMM	0,84-0,9	0,86-0,92	0,85-0,93	0,86-0,93		0,78-0,88	0,82-0,91	0,81-0,91	0,82-0,91	
	losowa	0,85-0,89	0,85-0,91	0,83-0,91	0,83-0,91		0,78-0,87	0,79-0,89	0,76-0,89	0,77-0,89	
II	śr. arytm.	0,84-0,95	0,86-0,95	0,84-0,93	0,86-0,94	0,8-0,93	0,81-0,93	0,8-0,91	0,82-0,93		
	mediana	0,85-0,95	0,86-0,95	0,85-0,93		0,8-0,94	0,81-0,93	0,8-0,91			
	alg. EM	0,85-0,95	0,86-0,95	0,84-0,93		0,8-0,93	0,81-0,93	0,8-0,91			
	CART	0,85-0,93	0,87-0,95	0,85-0,93		0,81-0,92	0,82-0,93	0,8-0,91			
	PMM	0,84-0,93	0,85-0,94	0,84-0,93		0,79-0,91	0,8-0,93	0,78-0,91			
	losowa	0,85-0,92	0,85-0,93	0,82-0,92		0,8-0,91	0,8-0,91	0,75-0,9			

Źródło: opracowanie własne.

Dane przedstawione w tab. 1 obrazują zakresy wyników uzyskanych dla współczynników rzetelności łącznej (*Composite Reliability* – CR) i alfa Cronbacha (CA) dla analizowanych siedmiu modułów omawianego modelu badawczego w zależności od liczebności próby oraz stosowanej metody zastępowania braków odpowiedzi. Otrzymane wartości pozwalają przyjąć, iż bez względu na stosowaną metodę zastępowania braków, jak również liczebność badanej próby (w obu zbiorach przypadków dla prób 50-, 150- i 300-osobowych) założony model badawczy charakteryzuje

się wysokim stopniem spójności wewnętrznej (z oczywistych przyczyn najniższe wyniki zaobserwowano dla prób z całkowicie losowym zastępowaniem braków odpowiedzi, choć i w tym przypadku spełniają one przyjęte poziomy graniczne dla analizowanych współczynników). Takie wyniki dają podstawę do stwierdzenia, iż badacze w sposób prawidłowy dokonali wyboru siedmiu głównych modułów omawianego modelu, a także poprawnie przyporządkowali do nich poszczególne zagadnienia problemowe.

Przeprowadzona analiza miary stabilności wewnętrznej modelu nie pozwala odrzucić żadnej z branych pod uwagę metod zastępowania braków odpowiedzi, jak również wykazać supremacji jednej metody nad innymi, o czym świadczą bardzo zbliżone poziomy wskaźników CR i CA uzyskane dla badanych zbiorów obserwacji i wykorzystywanych metod.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki wskaźnika stabilności zewnętrznej modelu R^2 w zależności od liczebności próby i stosowanej metody zastępowania braków odpowiedzi.

Tabela 2. Uzyskane miary współczynnika R^2

Zbiór	Metoda zastępowania braków	50 osób	150 osób	300 osób	1375 osób	Bez braków
I	średnia arytmetyczna	0,6604	0,5068	0,5801	0,5382	0,5009
	mediana	0,6519	0,5027	0,5832	0,5381	
	algorytm EM	0,6398	0,5072	0,5806	0,5383	
	CART	0,6552	0,5330	0,6022	0,5587	
	PMM	0,6647	0,5478	0,5987	0,5609	
	losowa	0,6588	0,4741	0,5710	0,5115	
II	średnia arytmetyczna	0,6983	0,5944	0,5729	0,5009	
	mediana	0,6968	0,5934	0,5744		
	algorytm EM	0,6938	0,5951	0,5731		
	CART	0,7037	0,6027	0,5837		
	PMM	0,6938	0,6064	0,5787		
	losowa	0,7080	0,6099	0,5437		

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki prezentowane w tab. 2 pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Jak można było przewidzieć, próba 50-osobowa charakteryzuje się większymi miarami współczynnika R^2 w stosunku do pozostałych (bardziej licznych) prób badawczych (bez względu na zastosowaną metodę zastępowania braków odpowiedzi).

- Nie zaskakuje fakt, iż metoda doboru losowego braków odpowiedzi charakteryzuje się największym zróżnicowaniem uzyskiwanych wyników (różnice między zbiorami – np. dla prób 150 osobowych zbiór I ma najniższy wyniki, zaś zbiór II – najwyższy; różnice między liczebnościami – np. zbiór II dla 50 osób i 150 osób ma wyniki najwyższe, zaś dla 300 osób oraz całej próby – najniższe).
- Gdy z analizy wykluczy się metodę losową, można dostrzec, iż w zdecydowanej większości przypadków metodami, które charakteryzują się najwyższymi poziomami analizowanego wskaźnika, są algorytm CART oraz PMM, bez możliwości wskazania lepszej z nich (różne wyniki w zależności od liczebności próby oraz losowanego zbioru).
- Jedynym wyjątkiem od powyższego jest próba 50-osobowa, dla której dla zbioru zarówno I, jak i II można zaobserwować wysokie wyniki uzyskiwane w odniesieniu do zastępowania braków średnią arytmetyczną odpowiedzi.
- Różnice występujące między wynikami analizowanego wskaźnika uzyskane poszczególnymi metodami w ramach tak samo licznych prób nie różniły się o więcej niż 7% w przypadku włączenia do analizy metody losowego zastępowania braków i 4,5% w sytuacji jej wykluczenia (przy czym każdorazowo były największe dla zbiorów 150-osobowych).

3.2. Wyniki modelowania ścieżkowego (indeksy modułów i relacje ścieżkowe)

Ze względu na ograniczenia objętościowe niniejszego artykułu w dalszej części zostaną przedstawione wyniki uzyskane dla jednego zbioru prób 50-, 150- oraz 300-osobowych (zbiór I).

Tabela 3. Uzyskane indeksy poszczególnych modułów modelu badawczego (50 i 150 osób)

Moduły modelu	50 osób (zbiór I)						150 osób (zbiór I)					
	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.
Asortyment	6,33	6,35	6,32	6,33	6,41	6,31	6,38	6,40	6,38	6,41	6,40	6,40
Postrzeżanie cen	4,43	4,51	4,65	5,14	5,96	5,15	4,89	4,93	4,89	4,97	4,81	5,10
Działania promocyjne	5,77	5,78	5,82	5,82	5,67	5,86	6,06	6,08	6,06	6,10	6,10	6,12
Aspekty organizacyjne	6,88	6,90	6,98	6,91	6,89	6,91	7,09	7,12	7,10	7,12	7,14	7,09
Lokalizacja/ logistyka	7,12	7,16	7,05	7,15	7,19	7,09	7,30	7,36	7,30	7,35	7,33	7,28
Jakość pracy obsługi	6,49	6,48	6,63	6,56	6,58	6,50	6,79	6,81	6,79	6,83	6,83	6,81
Satysfakcja i lojalność	6,96	6,95	6,92	6,99	6,98	6,98	6,89	6,91	6,89	6,90	6,90	6,88

Źródło: opracowanie własne.

W tabelach 3-4 przedstawiono poziomy indeksów poszczególnych modułów uzyskane dla prób o różnej liczebności i różnym sposobie zastępowania braków odpowiedzi (na rys. 1 oznaczone symbolami X1, X2, X3, X4, X5, X6 oraz X7).

Tabela 4. Uzyskane indeksy poszczególnych modułów modelu badawczego (300, 1375 i 371 osób)

Moduły modelu	300 osób (zbiór I)						1375 osób (zbiór I)						Bez braków
	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.	
Asortyment	6,19	6,19	6,20	6,20	6,16	6,23	6,24	6,26	6,24	6,25	6,25	6,28	6,42
Postrzeżenie cen	5,30	5,29	5,30	5,29	5,28	5,35	5,07	5,09	5,07	5,07	5,06	5,29	5,30
Działania promocyjne	6,16	6,14	6,16	6,16	6,11	6,22	6,09	6,07	6,08	6,06	6,05	6,15	6,34
Aspekty organizacyjne	6,97	6,98	6,97	6,99	6,98	6,99	7,02	7,04	7,02	7,04	7,03	7,03	6,85
Lokalizacja/logistyka	7,30	7,34	7,30	7,33	7,32	7,25	7,35	7,40	7,35	7,37	7,35	7,30	7,21
Jakość pracy obsługi	6,87	6,91	6,86	6,89	6,87	6,83	6,87	6,91	6,87	6,87	6,88	6,87	6,73
Satysfakcja i lojalność	6,68	6,68	6,67	6,70	6,67	6,69	6,76	6,79	6,76	6,76	6,76	6,78	6,89

Źródło: opracowanie własne.

Dane prezentowane w tab. 3-4 pozwalają na wyciągnięcie dwóch głównych wniosków natury analitycznej. Po pierwsze zaobserwowano, iż dla większości modułów analizowanego modelu metoda zastępowania braków odpowiedzi (bez względu na liczebność badanej próby) nie wpływa w sposób statystycznie istotny na uzyskiwane poziomy indeksów. Jedyny wyjątek stanowi moduł „Postrzegana wartość” dla próby 50-osobowej, dla którego zauważa się istotne zmiany w poziomach indeksów w zależności od wybranej metody zastępowania braków odpowiedzi (np. różnica między metodami PMM a średnią odpowiedzi wynosi aż 1,53 punktu indeksowego). Ponadto uzyskane wyniki pokazują, iż wraz ze wzrostem liczebności próby różnice między poziomami indeksów uzyskanych dla różnych metod zastępowania braków odpowiedzi maleją, co sugeruje, iż wraz ze wzrostem liczebności próby spada znaczenie doboru określonej metody imputacji.

W tabelach 5-6 przedstawiono wyznaczone miary relacji ścieżkowych występujące między sześcioma modułami niezależnymi modelu a obszarem wynikowym („Satysfakcja i lojalność”) uzyskane dla prób o różnej liczebności i różnym sposobie zastępowania braków odpowiedzi (na rys. 1 miary relacji ścieżkowych oznaczono symbolami B1, B2, B3, B4, B5 oraz B6).

Tabela 5. Uzyskane miary relacji ścieżkowych dla omawianego modelu (50 i 150 osób)

Moduły modelu	50 osób (zbiór I)						150 osób (zbiór I)					
	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.
Asortyment	0,50	0,50	0,50	0,55	0,51	0,57	0,50	0,50	0,50	0,51	0,52	0,45
Postrzeżenie cen	-0,20	-0,20	-0,21	0,03	-0,17	0,19	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,05
Działania promocyjne	0,11	0,10	0,11	0,10	0,13	0,06	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,07
Aspekty organizacyjne	0,16	0,17	0,13	0,08	0,19	0,05	-0,03	-0,03	-0,03	0,00	-0,06	-0,02
Lokalizacja/logistyka	-0,08	-0,11	-0,04	-0,03	-0,06	-0,06	0,26	0,26	0,26	0,26	0,33	0,28
Jakość pracy obsługi	0,15	0,16	0,13	0,21	0,13	0,20	0,06	0,06	0,06	0,02	0,00	0,06

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Uzyskane miary relacji ścieżkowych dla omawianego modelu (300, 1375 i 371 osób)

Moduły modelu	300 osób (zbiór I)						1375 osób (zbiór I)						Bez braków
	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.	śr.	med.	EM	CART	PMM	los.	
Asortyment	0,46	0,46	0,46	0,45	0,46	0,44	0,46	0,45	0,46	0,45	0,45	0,45	0,44
Postrzeżenie cen	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,01	0,09	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,06	-0,08	-0,07
Działania promocyjne	0,25	0,26	0,25	0,28	0,28	0,24	0,23	0,23	0,23	0,25	0,22	0,21	0,23
Aspekty organizacyjne	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05	0,06	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,09	0,06
Lokalizacja/logistyka	0,16	0,17	0,16	0,17	0,15	0,19	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17	0,16	0,20
Jakość pracy obsługi	-0,03	-0,03	-0,03	-0,07	-0,03	-0,05	-0,05	-0,05	-0,05	-0,07	-0,07	-0,01	-0,09

Źródło: opracowanie własne.

Prezentowane w tab. 5 i 6 wyniki relacji ścieżkowych występujących między poszczególnymi modułami niezależnymi omawianego modelu a obszarem wynikowym („Satysfakcja i lojalność”) pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Podobnie jak w przypadku indeksów analizowanych modułów, wraz ze wzrostem liczebności próby różnice między poziomami relacji ścieżkowych uzyskanych dla różnych metod zastępowania braków odpowiedzi zauważalnie maleją (największe różnice występują dla próby 50-osobowej).
- W przypadku dużych i bardzo dużych prób (300 oraz 1375 osób) różnice między poszczególnymi metodami w perspektywie wyznaczonych miar relacji ścieżkowych należy określić jako marginalne i nieistotne ze statystycznego punktu widzenia.

4. Podsumowanie

Stosowanie różnych metod zastępowania braków odpowiedzi w przypadku prób o różnej liczebności skutkuje niewielkimi, aczkolwiek zauważalnymi ze statystycznego punktu widzenia różnicami w uzyskiwanych wynikach miary dopasowania zewnętrznego modelu PLS-SEM (R^2). W odniesieniu do prób większych, od 50 osób, zauważono, że metodami, dla których uzyskano najwyższe wyniki omawianego wskaźnika były algorytmy PMM oraz CART. W próbie 50-osobowej badania pokazały, że porównywalnie dobrą do wymienionych jest metoda zastępowania braków odpowiedzi średnią arytmetyczną pozostałych wskazań (dla danej zmiennej).

Uzyskane wartości indeksów poszczególnych modułów analizowanego modelu oraz miar relacji ścieżkowych w omawianym badaniu (dla poszczególnych badanych prób ilościowych) sugerują, iż bez względu na stosowaną metodę zastępowania braków odpowiedzi w obrębie prób o liczebności większej niż 50 osób nie występują znaczne różnice w konstrukcji ramowej samego modelu analitycznego. Sytuacja ta wynika prawdopodobnie z niewielkiego odsetku braków danych, a tym samym niewielkiego znaczenia imputowanych wartości w powstawaniu całego modelu.

Oznacza to, iż dla prób większych niż 50 obserwacji, bez względu na stosowaną metodę zastępowania braków odpowiedzi przy modelowaniu ścieżkowych z zastosowaniem analizy PLS, wnioski praktyczne o charakterze predykcyjnym, dotyczące na przykład biznesowej aplikacji modelu, pozostają takie same.

Na koniec należy zwrócić uwagę, że przedstawione wnioski są słuszne wyłącznie dla postawionych uprzednio założeń i uproszczeń o charakterze metodologicznym. W szczególności dotyczą one losowego charakteru braków (MAR) oraz pominięcia oceny rozkładu analizowanych zmiennych. Dodatkowo dużą wartość poznawczą miałyby zbadanie większej liczby prób w ramach każdej liczebności, co umożliwiłoby oszacowanie wartości oczekiwanych, przedziałów dokładności oraz poziomów ufności dla szacowanych parametrów.

Literatura

- Allison P.D., 2002, *Missing Data*, Thousand Oaks, Sage.
- Anderson A.B., Basilevsky A., Hum, D.P., 1983, *Missing Data: A Review of the Literature*, [w:] *Handbook of Survey Research*, Rossi J.D.W.P.H., Anderson A.B. (red.), Academic Press, New York.
- Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J., 1984, *Classification and Regression Trees*, Taylor & Francis.
- Chauvet G., Deville J.C., Haziza D., 2011, *On balanced random imputation in surveys*, *Biometrika*, vol. 98.2, s. 459-471.
- Chen J., Rao J.N.K., Sitter R.R., 2000, *Efficient random imputation for missing data in complex surveys*, *Statistica Sinica*, s. 1153-1169.
- Collins L.M., Schafer J.L., Kam C.M., 2001, *A comparison of inclusive and restrictive strategies in modern missing-data procedures*, *Psychological Methods*, vol. 6, s. 330-351.
- Dempster A.P., Laird N.M., Rubin D.B., 1977, *Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm (with discussion)*, *Journal of Royal Statistical Society B*, no. 39.

- Graham J.W., 2012, *Missing Data: Analysis and Design*, Statistics for Social and Behavioral Sciences.
- Graham J.W., Cumsille P.E., Elek-Fisk E., w druku, *Methods for Handling Missing Data*, [w:] *Comprehensive Handbook of Psychology. Research Methods in Psychology*, Schinka J.A., Velicer W.F. (red.), Wiley, New York.
- Hastie T., Tibshirani R., Friedman J., 2009, *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, Springer, New York.
- Heitjan D.F., Basu S., 1996, *Distinguishing missing at random and missing completely at random*, *American Statistician*, no. 50, s. 207-213.
- Huptas R., 2010, *Algorytm EM dla modeli mieszanych – podstawy teoretyczne*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, nr 813.
- Little R.J.A., 1988, *Missing data adjustments in large surveys*, *Journal of Business Economics and Statistics*, no. 6, s. 287-301.
- Little R.J.A., Rubin D.B., 1987, *Statistical analysis with missing data*, John Wiley & Sons, New York.
- Magiera R., 2002, *Modele i metody statystyki matematycznej*, GiS, Wrocław.
- Marsaglia G., Tsang W.W., 1998, *The Monty Python method for generating random variables*, *ACM Transactions on Mathematical Software*, no. 24(3), s. 341-350.
- McLachlan G.J., Krishnan T., 1997, *The EM Algorithm and Extensions*, John Wiley & Sons, New York.
- Pigott T.D., 2001, *A review of methods for missing data*, *Educational Research and Evaluation*, vol. 7, no. 4, s. 353-383.
- Ripley B.D., 1996, *Pattern Recognition and Neural Networks*, Cambridge University Press.
- Roderick J., Little A., 1988, *A test of missing completely at random for multivariate data with missing values*, *Journal of the American Statistical Association*, vol. 83, no. 404, s. 1198-1202.
- Rubin D.B., 1986, *Statistical matching using file concatenation with adjusted weights and multiple imputations*, *Journal of Business and Economic Statistics*, no. 4, s. 87-94.
- Schafer J.L., Graham J.W., 2002, *Missing data: Our view of the state of the art*, *Psychological Methods*, vol. 7, s. 147.
- Skowron Ł., 2010, *Satysfakcja i lojalność klienta – ujęcie modelowe i wyniki badań*, [w:] *Zarządzanie wartością klienta. Pomiar i strategie*, Dobiegała-Korona B., Doligalski T. (red.), Poltext, Warszawa.
- Timofeev R., 2004, *Classification and Regression Trees (CART). Theory and Applications*, Berlin.