

Analiza czynnikowa

Niniejszą analizę i raport opisowy wykonano w Systemie Zautomatyzowanego Tworzenia Opisu Statystycznego - SZTOS (Hryniewicz, Milewska, 2023).

Statystyki opisowe wprowadzonych danych

Podsumowanie wprowadzonych zmiennych przedstawiają statystyki opisowe w tabeli nr 1, korelacje pomiędzy testowanymi zmiennymi przedstawia rysunek nr 1.

Tabela nr 1

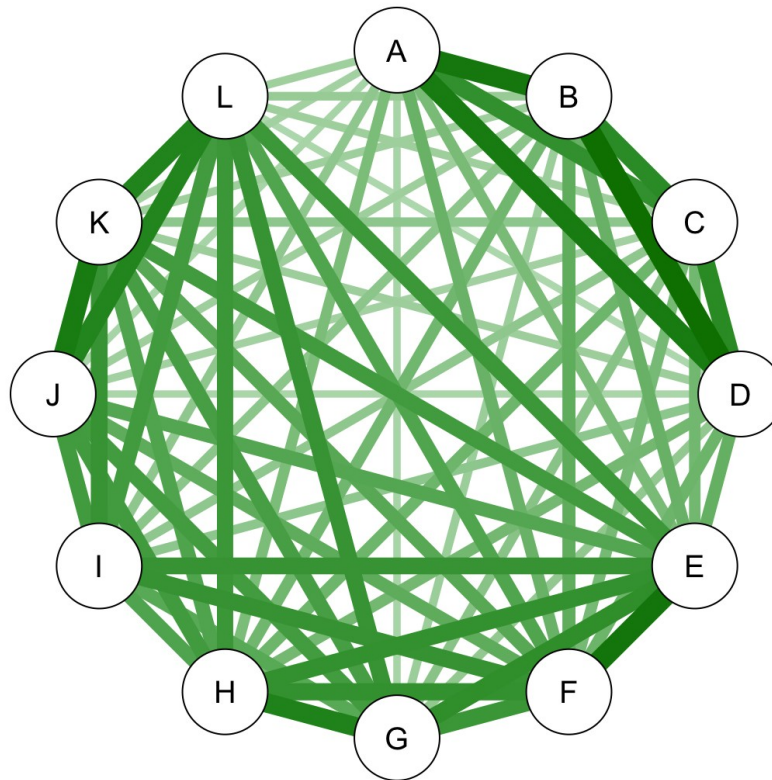
Statystyki opisowe analizowanych zmiennych

Zmienna	<i>id</i>	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Me</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	Ranga	Skośność	Kurtoza	<i>SE</i>
Łatwość korzystania1	1	303	3.70	0.90	4.00	1.00	5.00	4.00	-0.79	0.62	0.05
Łatwość korzystania2	2	303	3.66	0.90	4.00	1.00	5.00	4.00	-0.61	0.44	0.05
Łatwość korzystania3	3	303	3.49	0.95	4.00	1.00	5.00	4.00	-0.57	0.09	0.05
Łatwość korzystania4	4	303	3.61	0.89	4.00	1.00	5.00	4.00	-0.48	-0.05	0.05
Użyteczność1	5	303	3.39	1.03	3.00	1.00	5.00	4.00	-0.56	0.02	0.06
Użyteczność2	6	303	3.39	1.02	3.00	1.00	5.00	4.00	-0.42	-0.18	0.06
Użyteczność3	7	303	2.98	1.13	3.00	1.00	5.00	4.00	-0.17	-0.77	0.07
Użyteczność4	8	303	3.21	1.01	3.00	1.00	5.00	4.00	-0.22	-0.40	0.06
Intencja kupna1	9	303	3.45	1.24	4.00	1.00	5.00	4.00	-0.65	-0.56	0.07
Intencja kupna2	10	303	2.57	1.19	2.00	1.00	5.00	4.00	0.29	-0.88	0.07
Intencja kupna3	11	303	2.60	1.29	3.00	1.00	5.00	4.00	0.15	-1.24	0.07
Intencja kupna4	12	303	2.44	1.18	2.00	1.00	5.00	4.00	0.41	-0.77	0.07

Nota. N = Ilość obserwacji; M = Średnia arytmetyczna; SD = Odchylenie standardowe; Me = Mediana; SE = Błąd standardowy.

Wykres nr 1

Oszacowania korelacji między zmiennymi



Nota. A = Łatwość korzystania1; B = Łatwość korzystania2; C = Łatwość korzystania3; D = Łatwość korzystania4; E = Użyteczność1; F = Użyteczność2; G = Użyteczność3; H = Użyteczność4; I = Intencja kupna1; J = Intencja kupna2; K = Intencja kupna3; L = Intencja kupna4. Im ciemniejszy kolor zielony = bardziej dodatnia korelacja; im ciemniejszy kolor czerwony = bardziej ujemna korelacja. Przerywana linia oznacza nieistotny statystycznie związek między zmiennymi, natomiast linia ciągła — związek istotny. Rysunek bazuje na uzyskanych oszacowaniach współczynników korelacji Pearsona.

Diagnostyka danych wejściowych do analizy czynnikowej

Miara KMO

Zasadność zastosowania analizy czynnikowej oceniono za pomocą miary adekwatności doboru próby Kaisera-Meyera-Olkina (*KMO*) (Kaiser, 1974). Oszacowana wartość $KMO = 0.90$ wskazuje na znakomitą adekwatność doboru zmiennych do analizy czynnikowej. Tabela nr 2 przedstawia indywidualne oszacowania dopasowania zmiennych do analizy czynnikowej

Test Bartletta

Drugim z zastosowanych narzędzi diagnostycznych był test sferyczności Bartletta, weryfikujący, czy obserwowana macierz korelacji różni się od macierzy tożsamościowej, a więc czy zmienne łączy nadmiarowość możliwa do ujęcia w postaci czynników (Bartlett, 1950). Na podstawie tego testu można stwierdzić, że badane zmienne są skorelowane na tyle, że mogą być zredukowane i podsumowane za pośrednictwem analizy czynnikowej $\chi^2(66) = 2327.33$; $p < 0.001$. Oba wskaźniki diagnostyczne — miara KMO oraz test Bartletta — zgodnie przemawiają zatem za zasadnością przeprowadzenia analizy czynnikowej na zgromadzonych danych.

Tabela nr 2

Statystyki dopasowania analizowanych zmiennych

Zmienne	MSA
Łatwość korzystania1	0.90
Łatwość korzystania2	0.86
Łatwość korzystania3	0.94
Łatwość korzystania4	0.85
Użyteczność1	0.90
Użyteczność2	0.89
Użyteczność3	0.91
Użyteczność4	0.93
Intencja kupna1	0.95
Intencja kupna2	0.89
Intencja kupna3	0.89
Intencja kupna4	0.92

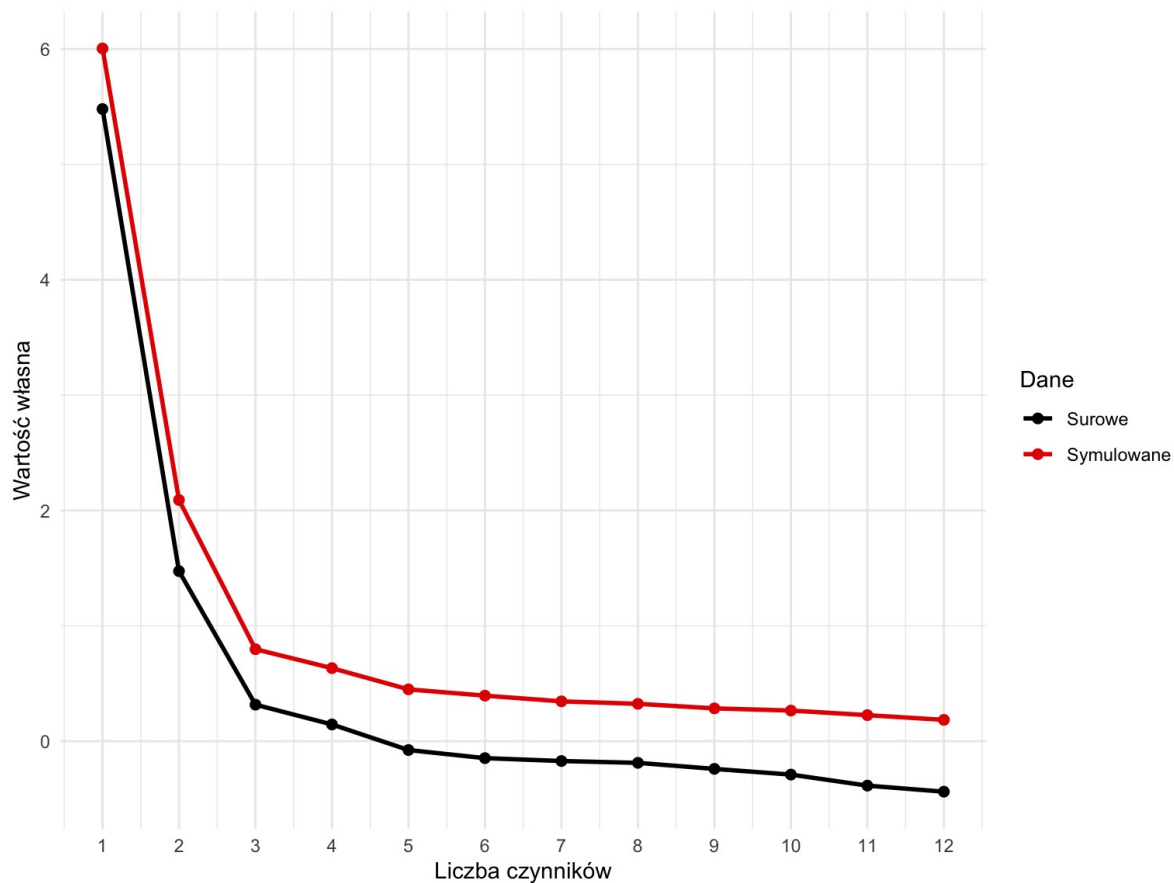
Nota. MSA = Measure of Sampling Adequacy (wartości poniżej 0.6 wskazują na możliwy brak dopasowania zmiennej do analizy czynnikowej)

Wykres osypiska

W celu wykrycia optymalnej ilości czynników przeprowadzono analizę wzrokową wykresu osypiska, a także wykresu osypiska wykonanego metodą równoległej symulacji (ang. *parallel simulation*) (Horn, 1965). Ostry spadek wartości własnych przy danej ilości czynników wskazuje na optymalną ilość czynników do wyodrębnienia (dotyczy to obu metod których wyniki są przedstawione na rysunku nr 2).

Wykres nr 2

Wykres osypiska



Nota. Ostry spadek wartości własnych przy danej ilości czynników wskazuje na optymalną ilość czynników do wyodrębnienia. Wyniki na danych symulowanych to wyniki metody równoległej symulacji.

Statystyki dopasowania danych do eksplorowanej struktury czynnikowej

W celu redukcji wprowadzonych danych do $N = 3$ czynników, przeprowadzono analizę czynnikową metodą głównych składowych (*principal components*) przy wykorzystaniu pakietu *psych* (Revelle, 2022). W celu maksymalizacji wyjaśnionej wariancji wyodrębnienia wykorzystano do analizy metodę rotacji oblimin. Jest to metoda rotacji czynników biorąca poprawkę na możliwą korelację między wyodrębnionymi czynnikami. Wyniki czynnikowe (*scores*) dla każdego badanego zostały oszacowane metodą regresyjną (metoda Thurstone'a).

Ocena współczynników dopasowania do otrzymanej struktury czynnikowej

Poniższe statystyki dopasowania przedstawiają współczynniki oceniające jakość testowanej struktury czynnikowej.

Współczynnik złożoności (*Complexity*) wykazał, że przeciętnie dana zmienna poddana analizie czynnikowej była powiązana z następującą ilością czynników: 1.12 (Hofmann, 1978). Wyniki indywidualnych ocen złożoności poszczególnych zmiennych przedstawia tabela nr 3.

Wyniki analizy czynnikowej

Tabela nr 3 i Rysunek nr 3 przedstawiają wyniki analizy czynnikowej, która wykazała, że:

Z wymiarem Łatwość była wyraźnie (ładunek czynnikowy powyżej 0.5) powiązana zmienna: Łatwość korzystania2, Łatwość korzystania4, Łatwość korzystania1, Łatwość korzystania3.

Z wymiarem Użyteczność była wyraźnie (ładunek czynnikowy powyżej 0.5) powiązana zmienna: Użyteczność2, Użyteczność1, Użyteczność3, Użyteczność4.

Z wymiarem Intencja_zakupu była wyraźnie (ładunek czynnikowy powyżej 0.5) powiązana zmienna: Intencja kupna2, Intencja kupna3, Intencja kupna4.

Tabela nr 3 przedstawia szczegółowe oszacowania podsumowujące wyjaśnioną wariancję wyników po przeprowadzonej redukcji. Wiersz “Proporcja wariancji” wskazuje na ile wyłonione czynniki wyjaśniają zmienne po ich redukcji w czynnik. Analiza ogólnie wykazała, że po redukcji danych nowe wyniki wyjaśniały około 74% wariancji wyników.

Tabela nr 3

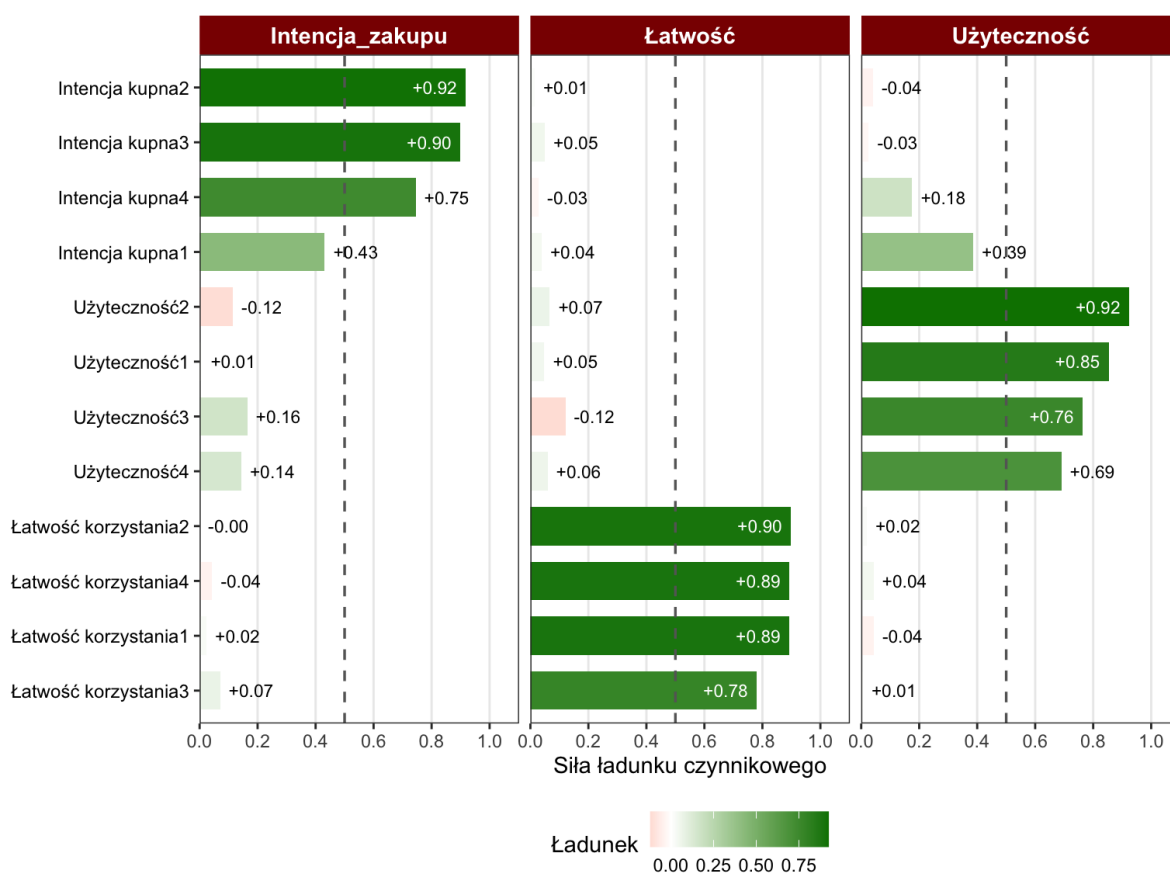
Oszacowania ładunków czynnikowych, wspólności, unikalności i złożoności

	Łatwość	Użyteczność	Intencja_zakupu	Wspólność	Unikalność	Złożoność
Łatwość korzystania2	0.90	0.02	0.00	0.82	0.18	1.00
Łatwość korzystania4	0.89	0.04	-0.04	0.81	0.19	1.01
Łatwość korzystania1	0.89	-0.04	0.02	0.77	0.23	1.01
Łatwość korzystania3	0.78	0.01	0.07	0.65	0.35	1.02
Użyteczność2	0.07	0.92	-0.12	0.79	0.21	1.04
Użyteczność1	0.05	0.85	0.01	0.78	0.22	1.01
Użyteczność3	-0.12	0.76	0.16	0.69	0.31	1.14
Użyteczność4	0.06	0.69	0.14	0.67	0.33	1.10
Intencja kupna2	0.01	-0.04	0.92	0.81	0.19	1.00
Intencja kupna3	0.05	-0.03	0.90	0.81	0.19	1.01
Intencja kupna4	-0.03	0.18	0.75	0.73	0.27	1.11
Intencja kupna1	0.04	0.39	0.43	0.57	0.43	1.99

Nota. Im silniejszy ładunek czynnikowy, tym silniejsze jest powiązanie danej zmiennej z danym czynnikiem. Wspólność określa, jaka część wariancji zmiennej jest wyjaśniana łącznie przez wszystkie czynniki – im jest wyższa, tym lepiej dana zmienna pasuje do modelu czynnikowego. Unikalność to odwrotność wspólności i wskazuje, jaka część wariancji zmiennej nie jest wyjaśniana przez wyodrębnione czynniki (obejmuje zarówno wariancję specyficzną, jak i błąd pomiaru). W tabelach ładunków czynnikowych przyjęto dodatkowe oznaczenia: ładunki nie różniące się siłą bardziej niż 0.3 są zaznaczone kolorem czerwonym, ładunki mniejsze niż 0.5 są zacienione, a te zapisane kursywą wskazują na krzyżowe ładowanie się zmiennej na więcej niż jeden czynnik. Złożoność jest natomiast miarą pokazującą, w jakim stopniu dana pozycja ładuje się na więcej niż jeden czynnik – im bliżej wartości 1, tym lepiej, ponieważ oznacza to, że zmienna mierzy przede wszystkim jeden czynnik.

Wykres nr 3

Oszacowania ładunków czynnikowych



Nota. Pionowa linia przerywana wskazuje próg wartości ładunku o wartości 0.5.

Tabela nr 4

Miary podsumowujące wyniki analizy czynnikowej

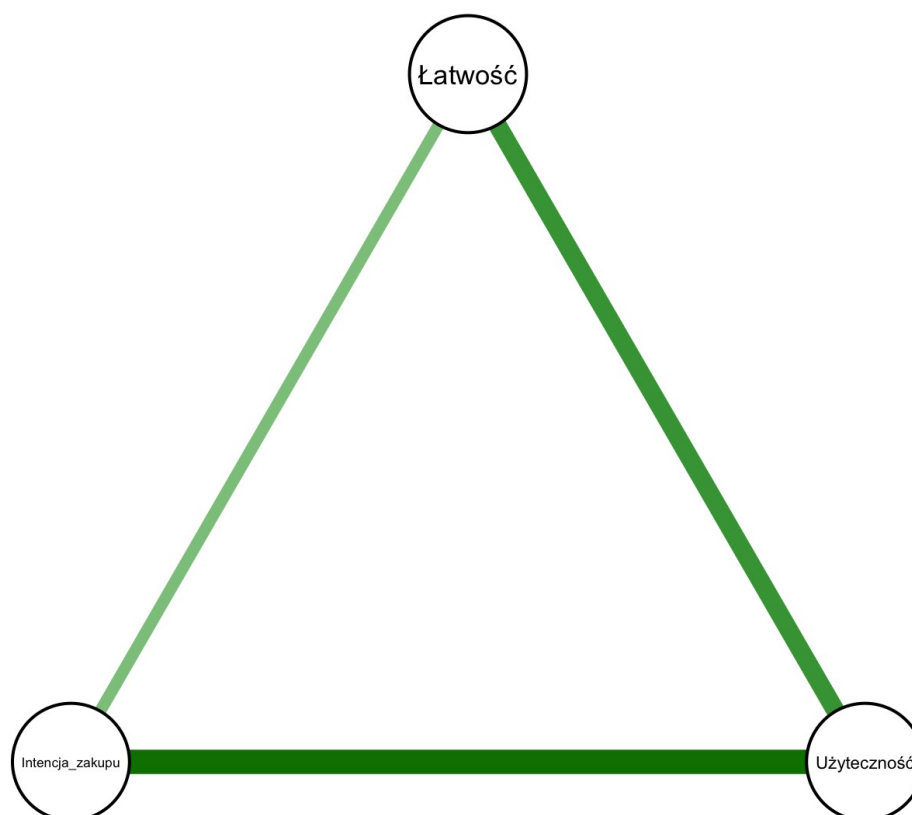
	Łatwość	Użyteczność	Intencja zakupu
Kwadraty ładunków	3.10	3.09	2.71
Proporcja wariancji	0.26	0.26	0.23
Wariancja skumulowana	0.26	0.52	0.74
Wyjaśniona proporcja	0.35	0.35	0.30
Proporcja skumulowana	0.35	0.70	1.00

Nota. Kwadraty ładunków = suma kwadratów ładunków; Proporcja wariancji = wyjaśniona wariancja zmiennych przez dany czynnik; Wariancja skumulowana = Suma wyjaśnionej wariancji zmiennych przez czynnik/i; Wyjaśniona proporcja = Wyjaśniona proporcja wyjaśnionej wariancji zmiennych przez czynniki; Proporcja skumulowana = Suma proporcji wyjaśnionej wariancji.

Korelacje między czynnikami

Wykres nr 4

Wizualizacja relacji między czynnikami



Nota. Rysunek nr 4 Wizualizacja relacji między czynnikami *Nota:* Im ciemniejszy kolor zielony = bardziej dodatnia korelacja; im ciemniejszy kolor czerwony = bardziej ujemna korelacja. Przerywana linia oznacza nieistotny statystycznie związek między czynnikami, natomiast linia ciągła — związek istotny. Rysunek bazuje na uzyskanych oszacowaniach współczynników korelacji Pearsona.

Współczynnik złożoności (*Complexity*) wykazał, że przeciętnie dana zmienna poddana analizie czynnikowej była powiązana z następującą ilością czynników: 1.12 (Hofmann, 1978). Wyniki indywidualnych ocen złożoności poszczególnych zmiennych przedstawia tabela nr 3.

Podsumowanie wyników

Analizę poprzedziła ocena przydatności zmiennych do redukcji, przy czym miara KMO wskazywała znakomitą adekwatność doboru zmiennych, a test sferyczności wykazał, że zmienne były skorelowane na tyle, by można je było zredukować za pomocą analizy czynnikowej. Do redukcji zastosowano analizę głównych składowych z rotacją oblimum i wyodrębniono trzy czynniki oznaczone jako Łatwość, Użyteczność oraz Intencja_zakupu; wyniki czynnikowe oszacowano metodą regresyjną. W wymiarze Łatwość wyraźnie ładowały się pozycje Łatwość korzystania2, Łatwość korzystania4, Łatwość korzystania1 oraz Łatwość korzystania3, w wymiarze Użyteczność wyraźnie ładowały się pozycje Użyteczność2, Użyteczność1, Użyteczność3 oraz Użyteczność4, natomiast w wymiarze Intencja_zakupu wyraźne powiązania miały pozycje Intencja kupna2, Intencja kupna3 i Intencja kupna4. Większość pozycji wykazywała wysokie wspólności i niską złożoność, co wskazywało na jednoznaczne ładowanie na przypisane czynniki, natomiast pozycja Intencja_kupna1 ładowała się słabiej na główny czynnik i przejawiała wyraźne krzyżowe powiązanie z wymiarem Użyteczność, miała też relatywnie niższą wspólność oraz wyższą unikalność i złożoność w porównaniu z pozostałymi pozycjami. Podsumowując, trzy wyodrębnione czynniki łącznie wyjaśniały znaczną część wariancji zmiennych po ich redukcji, wyniki wskazywały na spójne grupowanie większości pozycji zgodnie z przypisanymi wymiarami, z jedną pozycją wykazującą niejednoznaczne powiązania.

Bibliografia

- Anderson, J. & Gerbing, D. (1984) The effect of sampling error on convergence, improper solutions, and goodness-of-fit indices for maximum likelihood confirmatory factor analysis, *Psychometrika* , 155-173.
- Bartlett, M. S. (1950). Tests of significance in factor analysis. *British Journal of Psychology* , 3, 77–85.
- Hofmann, R. J. (1978). Complexity and simplicity as objective indices descriptive of factor solutions. *Multivariate Behavioral Research* , 13(2), 247–250.
https://doi.org/10.1207/s15327906mbr1302_9
- Horn, J. L. (1965). A rationale and test for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika* , 30(2), 179–185.
- Hryniewicz, K., Milewska, A. (2023). SZTOS: System Zautomatyzowanego Tworzenia Opisu Statystycznego (Wersja SZTOS) [Oprogramowanie]. <https://sztos-it.com/>
- Kaiser H.F. “An Index of Factorial Simplicity” *Psychometrika* . 1974;39(no. 1):31–36.
- Pavlov, G., Maydeu-Olivares, A., & Shi, D. (2021). Using the Standardized Root Mean Squared Residual (SRMR) to Assess Exact Fit in Structural Equation Models. *Educational and Psychological Measurement* , 81(1), 110–130.
<https://doi.org/10.1177/0013164420926231>
- Revelle W (2022). psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research . Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 2.2.9, <https://CRAN.R-project.org/package=psych> .
- Schwarz, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics* , 6(2), 461–464. <http://www.jstor.org/stable/2958889>
- Steiger, J. H., & Lind, J. C. (1980). Statistically based tests for the number of common factors . Paper presented at the Annual Meeting of the Psychometric Society, Iowa City, IA.
- Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics* (6th ed.). Pearson.
- Tucker, L. R. (1951). A method for synthesis of factor analysis studies (Personnel Research Section Report No. 984). Department of the Army.