



INFLUENCE OF RANDOM VARIABLE CORRELATION ON THE RELIABILITY OF STEEL STRUCTURES

WPŁYW KORELACJI ZMIENNYCH LOSOWYCH NA NIEZAWODNOŚĆ KONSTRUKCJI STALOWYCH

Agnieszka Dudzik*
Kielce University of Technology, Poland

Abstract

The study investigated the influence of correlations between random variables on the reliability index of selected structural systems. The structural design parameters were defined as deterministic quantities and random variables, and the correlation between them was modeled using four correlation-matrix variants. The ultimate limit state was adopted as the safety criterion, and appropriate limit state functions were formulated to identify structural failure. A sensitivity analysis of the reliability index with respect to the random variables was carried out using the Hasofer-Lind reliability index as the performance measure. The First-Order Reliability Method served as the primary computational approach, with Monte Carlo simulation as the reference method. All calculations were performed using the NUPRESS Explore. The analyses demonstrated that increasing the correlation coefficient leads to higher values of the reliability index. The results confirm that the correlation coefficient significantly affects the reliability assessment and should not be neglected in structural safety evaluations.

Keywords: correlation coefficient, FORM method, Monte Carlo method, random variables, reliability index, sensitivity analysis

Streszczenie

W pracy analizowano wpływ korelacji zmiennych losowych na wartość wskaźnika niezawodności wybranych układów konstrukcyjnych. Parametry projektowe konstrukcji zdefiniowano jako wielkości deterministyczne oraz zmienne losowe. W analizie uwzględniono korelację zmiennych losowych poprzez zastosowanie czterech wariantów macierzy korelacji. Stan graniczny nośności przyjęto jako kryterium oceny bezpieczeństwa konstrukcji, a do identyfikacji stanu awarii zastosowano odpowiednie funkcje graniczne. Przeprowadzono analizę wrażliwości wskaźnika niezawodności względem zmiennych losowych, przyjmując wskaźnik Hasofera-Linda jako miarę niezawodności. Podstawową metodą obliczeniową była metoda niezawodności pierwszego rzędu (FORM), natomiast metodę Monte Carlo wykorzystano jako metodę referencyjną. Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania NUPRESS Explore. Na podstawie przeprowadzonych analiz zaobserwowano, że wzrost wartości współczynnika korelacji prowadzi do zwiększenia wartości wskaźnika niezawodności. Uzyskane wyniki potwierdziły, że współczynnik korelacji wywiera istotny wpływ na wartość wskaźnika niezawodności, wobec czego nie powinien być pomijany w ocenie bezpieczeństwa konstrukcji.

Słowa kluczowe: współczynnik korelacji, metoda FORM, metoda Monte Carlo, zmienne losowe, wskaźnik niezawodności, analiza wrażliwości

1 REFERENCES

- [1] Harr M.E.: *Reliability-Based Design in Civil Engineering*, Dover Publications, New York, USA, 2000.
- [2] Melchers R.E.: *Structural Reliability Analysis and Predictions*, 2nd Ed.; J. Wiley & Sons: Chichester, UK, 1999.
- [3] Nowak A., Collins K.: *Reliability of Structures*, CRC Press, 2 edition: New York, USA, 2013.

*Kielce University of Technology, Poland, agad@tu.kielce.pl

- [4] Sorensen J., Frangopol D.: *Advances in Reliability and Optimization of Structural Systems*, Taylor & Francis Group, Londyn, 2006.
- [5] Winkelmann K.: *Efektywność symulacji numerycznych w analizie wrażliwości i niezawodności konstrukcji inżynierskich o parametrach materiałowych i obciążeniach zmiennych w czasie*, 2024.
- [6] Potrzeszcz-Sut B.: *Reliability Analysis of Shell Truss Structure by Hybrid Monte Carlo Method*, J. Theor. Appl. Mech. 2020, 469-482, doi:10.15632/jtam-pl/118886.
- [7] Hasofer A., Lind N.: *Exact and Invariant Second-Moment Code Format*, JEng. Mech. Div.-ASCE 1974, 100, 111-121.
- [8] Ditlevsen O., Madsen H.: *Structural Reliability Methods*; J. Wiley & Sons: Chichester, UK, 1996.
- [9] Nelsen R.B.: *An Introduction to Copulas*, 2nd ed., Springer New York, New York, USA, 2006; ISBN 978-0-387-28659-4.
- [10] Chao J., Wang Z., Xu H.A.N.: *A Copula Function Based Evidence Theory Model For Correlation Analysis and Corresponding Structural Reliability Method*, Journal of Mechanical Engineering 2017, 53, 199-209, doi:10.3901/JME.2017.16.199.
- [11] Fang G., Pan R., Hong Y.: *Copula-Based Reliability Analysis of Degrading Systems with Dependent Failures*, Reliability Engineering & System Safety, 2020, 193, 106618, doi:https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106618.
- [12] ZhaoY.-G., Ono T.: *A General Procedure for First/Second-Order Reliability Method (FORM/SORM)*, Structural Safety 1999, 21, 95-112.
- [13] Robert C., Casella G.: *Monte Carlo Statistical Methods*, Springer, New York, 1999.
- [14] Kiureghian A.D.: *Analysis of Structural Reliability under Parameter Uncertainties*, Probabilistic Engineering Mechanics, 2008, 23, 351-358, doi:https://doi.org/10.1016/j.probenengmech.2007.10.011.
- [15] Bai X., Li Y., Zhang D., Zhang Z.: *A Structural Reliability Analysis Method Considering Multiple Correlation Features*, Machines, 2024, 12, doi:10.3390/machines12030210.
- [16] Zhang L., Yan R.: *Copula-Based Reliability Estimation of Parallel-Series System in the Multicomponent Stress-Strength Dependent Model*, Probability in the Engineering and Informational Sciences, 2025, 39, 309-325, doi:10.1017/S0269964824000263.
- [17] Kubicka K., Radon U.: *The System Reliability of Steel Trusses with Correlated Variables*, Archives of Civil Engineering, 2024, 70, 163-178.
- [18] Stocki R.: *Analiza niezawodności i optymalizacja odpornościowa złożonych konstrukcji i procesów technologicznych*, IPPT PAN, Warszawa, 2010.
- [19] Kowalczyk P., Rojek J., Stocki R., Bednarek T., Tauzowski P., Lasota R., Lumelsky D., Wawrzyk K.: *NUMPRESS – Integrated Computer System for Analysis and Optimization of Industrial Sheet Metal Forming Processes*, Hutnik, Wiadomości Hutnicze, 2014, 81, 55-63.
- [20] Gwóźdź M., Machowski A.: *Wybrane badania i obliczenia konstrukcji budowlanych metodami probabilistycznymi*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki, Kraków, 2011.
- [21] JCSS JCSS Probabilistic Model Code, Part 1 – Basis of Design 2001.
- [22] Dudzik A.: *Impact of the Mathematical Model Description on the Assessment of the Reliability of Structural Elements*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2017, 245, doi:10.1088/1757-899X/245/6/062055.
- [23] Dudzik A., Radoń U.: *The Evaluation of Algorithms for Determination of the Reliability Index*, Archives of Civil Engineering, 2015, LXI, 133-147, doi:10.1515/ace-2015-0030.