

Mgr inż. Agnieszka Dudzik
Politechnika Świętokrzyska
Wydział Budownictwa i Architektury

Effectiveness of the FORM method compared to other probabilistic methods in the analysis of bar structures

Summary

The subject of the present study is the reliability analysis of engineering structure in the area of statics, stability and dynamics of bar structures with a special emphasis on the FORM method as a numerical technique which allow for the obtainment of credible probabilistic measures of structure safety. The Hasofer-Lind reliability index, determined using an iterative procedure of Rackwitz-Fiessler, was used as a reliability measure. In order to verify the correctness of the calculation, the values obtained using the FORM method were compared with the values estimated using the following methods: SORM, Monte Carlo and Importance Sampling. For this purpose, relative error of the reliability index was calculated taking the simulation Monte Carlo method as a reference. The effectiveness of the primary research method was performed by comparing the number of calls of the limit state, which is connected with the calculation time. In order to verify the thesis, formulated in the study, the flat and spatial structures and objects subjected to dynamic interactions were analyzed, thereby showing possibility to use not only the FORM method, but probabilistic methods in general, at different levels of structural analysis.

In the performed analyzes explicit and implicit forms of the random variables function were used. In order to formulate explicit limit state functions, a module for symbolic computation in *Mathematica* software was created. The use of an implicit form of the random variables functions requires the application of a numerical procedure. The study presents a combination of the reliability analysis program with the KRATA and MES3D external FEM programs. Irrespective of the form of limit state function, the STAND program, created at the IPPT PAN, was used in the reliability analysis. Different types of limit state functions were considered, i.a. the condition of appropriate level of displacement, the condition of not exceeding the admissible load multiplier, the condition of not exceeding the critical load, the condition of the appropriate level of stresses in a structure element and the condition of not exceeding the admissible vibration amplitude.

The reliability analysis was carried out in relation to the statics, stability and dynamics of the structure. In each of these areas various purposes were reached. In the chapter on the probabilistic approach to the problems of static analysis, the effect of assumed probability distribution of individual random variables on the value of the reliability index was determined. In the description of random variables the different types of probability distribution were used and the values of the reliability index for the normal distribution and the distribution chosen according to the kind of a variable were compared. The primary aims of the chapter of stability analysis was the determination of the effect of the assumed level of

the variation coefficient of selected random variables, comparison of methods of reliability analysis, determination of the impact of the introduction of the additional random variables in the description of the mathematical model on the value of the reliability index as well as checking how taking into account in the analysis the large axial forces affects the reliability index value. In the third chapter a probabilistic approach to the problems of dynamic analysis was used and as a result the values of reliability index for different cases of the vector of random variables, that is, different descriptions of mathematical model of the structure, were determined. In the considered issues the time was not taken into account explicitly and random variables were not correlated.

Efektywność metody FORM na tle innych metod probabilistycznych w analizie konstrukcji prętowych

Streszczenie

Przedmiotem rozważań niniejszej pracy jest analiza niezawodności obiektów inżynierskich w zakresie statyki, stateczności i dynamiki konstrukcji prętowych ze szczególnym uwzględnieniem metody FORM jako techniki numerycznej pozwalającej na uzyskanie wiarygodnych probabilistycznych miar bezpieczeństwa konstrukcji. Jako miarę niezawodności przyjęto wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda wyznaczany przy użyciu iteracyjnej procedury Rackwitz-Fiesslera. W celu weryfikacji poprawności obliczeń wartości uzyskane za pomocą metody FORM porównano z wartościami oszacowanymi przy użyciu metod: SORM, Monte Carlo oraz Importance Sampling. W tym celu obliczono błąd względny wyznaczenia wskaźnika niezawodności przyjmując jako referencyjną, symulacyjną metodę Monte Carlo. Dokonano również oceny efektywności podstawowej metody badawczej poprzez porównanie liczby wywołań funkcji granicznej, która związana jest z czasem obliczeń. W celu zweryfikowania tezy sformułowanej w pracy analizowano konstrukcje płaskie, przestrzenne oraz obiekty poddane oddziaływaniom dynamicznym, ukazując tym samym możliwość zastosowania nie tylko metody FORM, ale metod probabilistycznych w ogóle, na różnych płaszczyznach analizy konstrukcji.

W przeprowadzonych analizach wykorzystano jawne oraz niejawne postacie funkcji zmiennych losowych. W celu sformułowania jawnych funkcji granicznych utworzono autorski moduł do obliczeń symbolicznych w środowisku *Mathematica*. Wykorzystanie niejawnej postaci funkcji zmiennych losowych wymaga zastosowania zewnętrznej procedury numerycznej np. MES. W pracy zaprezentowano połączenie programu niezawodnościowego z modułami metody elementów skończonych: KRATA oraz MES3D. Bez względu na formę definicji funkcji granicznej w analizie niezawodności posłużono się programem niezawodnościowym STAND, utworzonym w IPPT PAN. Rozpatrywano różne typy funkcji granicznych, między innymi warunek odpowiedniego poziomu przemieszczeń, warunek nieprzekroczenia dopuszczalnego mnożnika obciążenia, warunek nieprzekroczenia obciążenia krytycznego, warunek odpowiedniego poziomu naprężeń w elemencie konstrukcji oraz warunek nieprzekroczenia dopuszczalnej amplitudy drgań.

Analizę niezawodności przeprowadzono w odniesieniu do zagadnień statyki, stateczności i dynamiki konstrukcji. W każdym z tych obszarów zrealizowano różne cele. W rozdziale dotyczącym analizy statycznej w ujęciu probabilistycznym określono wpływ przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa poszczególnych zmiennych losowych na wartość wskaźnika niezawodności. W opisie zmiennych losowych wykorzystano różne typy funkcji gęstości prawdopodobieństwa i porównano wartości wskaźnika przy rozkładzie normalnym oraz przy dobraniu najbardziej adekwatnego rozkładu do rodzaju zmiennej. Głównym celem zrealizowanym w rozdziale dotyczącym analizy stateczności było określenie wpływu przyjętego poziomu współczynnika zmienności wybranych zmiennych losowych, porównanie metod analizy niezawodności, określenie wpływu wprowadzania kolejnych zmiennych losowych w opisie modelu matematycznego na wartość wskaźnika niezawodności oraz sprawdzenie, w jaki sposób uwzględnienie w analizie dużych sił osiowych wpływa na wartość wskaźnika niezawodności. W rozdziale trzecim przeprowadzono analizę dynamiczną w ujęciu probabilistycznymi i w rezultacie wyznaczono wartości wskaźnika niezawodności dla różnych przypadków wektora zmiennych losowych, czyli różnych opisów modelu matematycznego konstrukcji. W rozważanych zagadnieniach nie uwzględnia się jawnie czasu oraz wzajemnej korelacji przyjętych zmiennych losowych.

H. Dudzik