

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI KONSTRUKCJI KRATOWEJ

Urszula Radoń

Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Streszczenie. W 1974 roku Hasofer i Lind pokazali, że problem braku niezmienniczości, charakterystyczny dla wskaźnika Cornella, może być rozwiązany przez rozwinięcie funkcji granicznej w szereg Taylora wokół punktu leżącego na powierzchni granicznej (punkt linearyzacji nazywamy punktem projektowym). W pracy do wyznaczenia punktu projektowego i wskaźnika niezawodności Hasofera-Linda zastosowano algorytm iteracyjnej procedury Rackwitz-Fiesslera. Przeanalizowano, jak zmienia się wartość wskaźnika niezawodności Hasofera-Linda, a tym samym prawdopodobieństwo awarii konstrukcji kratowej w zależności od przyjętego typu rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej w miarę zbliżania się do wartości granicznej obciążenia.

Słowa kluczowe: punkt projektowy, funkcja gęstości prawdopodobieństwa, wskaźnik niezawodności

WSTĘP

Rozpatrywane w pracy zagadnienia analizy niezawodności konstrukcji opierają się na następujących założeniach. Konstrukcja może znajdować się w jednym z dwóch dopuszczalnych stanów: stanie bezpiecznym lub stanie awarii. Przez awarię należy tu rozumieć niespełnienie pewnego ograniczenia nałożonego przez projektanta na pracę konstrukcji. Przyjmuje się, że parametry opisujące stan konstrukcji traktowane są jako zmienne losowe (w odróżnieniu od procesów losowych). Rozpatrywane problemy analizy niezawodności dotyczyć będą tzw. niezawodności elementu. Przez element rozumie się tu całą konstrukcję lub jej część, której stan określony jest przez jedną funkcję zniszczenia (kryterium awarii). Należy w tym miejscu podkreślić, że praca nie dotyczy niezawodności systemowej, w której uwzględnia się wiele funkcji granicznych oraz możliwość sekwencji awarii poszczególnych elementów prowadzących do zniszczenia całej konstrukcji.

W zależności od zastosowanej miary niezawodności w literaturze przyjęto następującą klasyfikację metod oceny niezawodności: półprobabilistyczne – poziom 1, probabilistyczne – poziom 2, probabilistyczne – poziom 3.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Urszula Radoń, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Mechaniki Budowli, al. 1000-lecia PP7, 25-314 Kielce, e-mail: zmbur@tu.kielce.pl

Półprobabilistyczne metody poziomu 1 można zdefiniować jako metody obliczeń konstrukcji, w których wymagana niezawodność elementów jest zapewniona przez zastosowanie częściowych współczynników bezpieczeństwa, modyfikujących charakterystyczne lub obliczeniowe wartości zmiennych decydujących o stanie konstrukcji. Metoda stanów granicznych (SG) jest przykładem metody poziomu 1. Metody poziomu 1 nie pozwalają na projektowanie konstrukcji przy założeniu prawdopodobieństwa przekroczenia określonych stanów granicznych. Umożliwiają jedynie sformułowanie pozytywnej lub negatywnej odpowiedzi na pytanie, czy konstrukcja jest niezawodna (bezpieczna) z punktu widzenia wymagań zawartych w konkretnej normie. Ilościowa ocena niezawodności konstrukcji wymaga zastosowania metod wyższego poziomu.

Metody obliczeń konstrukcji, umożliwiające ilościową ocenę prawdopodobieństwa osiągnięcia stanów granicznych w założonym okresie eksploatacji, są zaliczane do metod probabilistycznych. Jeżeli do obliczeń niezawodności konstrukcji nie jest wymagana znajomość typu rozkładów prawdopodobieństw zmiennych podstawowych, to takie metody zalicza się do metod probabilistycznych poziomu 2. W metodach probabilistycznych poziomu 3 wymagana jest znajomość typu rozkładów prawdopodobieństw zmiennych podstawowych. Przykładem metody poziomu 3 jest metoda FORM zastosowana w niniejszej pracy.

METODYKA BADAŃ

Metoda FORM jest jedną z najbardziej skutecznych przybliżonych metod obliczania miar niezawodności. W przypadku ogólnym, gdy rozkład wektora X zmiennych bazowych nie jest wektorem o rozkładzie gaussowskim, stosuje się transformację, sprowadzającą ten wektor do wektora gaussowskiego, którego współrzędne są niezależnymi standardowymi zmiennymi normalnymi.

Istnienie tego typu transformacji oraz sposób jej konstruowania pokazał po raz pierwszy Rosenblatt dla przypadku, gdy współrzędne wektora X miały rozkłady jednostajne. Do obliczeń niezawodności adaptowali tę transformację Hohenbichler i Rackwitz. Transformacja podstawowych zmiennych losowych do gaussowskiej przestrzeni standardowej musi zapewniać równoważność sformułowania problemu niezawodności. Prawdopodobieństwo zniszczenia zdefiniowane w przestrzeni X musi być równe prawdopodobieństwu zdefiniowanemu w przestrzeni Z . Oprócz transformacji Rosenblatta stosowana jest także transformacja Hermite'a oraz transformacja wynikająca z tzw. modelu Natafa. Transformacja przeprowadza powierzchnię stanu granicznego $g(X) = 0$ na inną powierzchnię $G(Z) = 0$. Warto zauważyć, że efektywne obliczenie całki funkcji gęstości n -wymiarowego standardowego rozkładu normalnego po obszarze awarii jest nadal zadaniem skomplikowanym, poza przypadkiem, gdy $G(Z) = 0$ jest hiperpłaszczyzną w przestrzeni. Jednak dwie istotne własności gęstości standardowego rozkładu normalnego sprawiają, że transformacja jest przydatna w obliczaniu prawdopodobieństwa awarii. Pierwszą z tych własności jest obrotowa symetria wokół początku układu współrzędnych. Druga to eksponentjalne zanikanie tej funkcji wraz z kwadratem odległości od początku układu współrzędnych. Zatem największy „wkład” do prawdopodobieństwa awarii pochodzi

z obszaru stanowiącego sąsiedztwo punktu na powierzchni stanu granicznego, którego odległość od początku układu współrzędnych jest najmniejsza.

Dlatego w metodzie FORM powierzchnia stanu granicznego $G(Z) = 0$ aproksymowana jest przez hiperpłaszczyznę styczną do niej w punkcie najbliższym początkowi układu współrzędnych. Prowadzi to do następującego przybliżonego wzoru na prawdopodobieństwo awarii: $p_F = \Phi(-\beta)$. Punkt realizujący minimum odległości nazywa się punktem projektowym, a β – wskaźnikiem niezawodności. Ponieważ w punkcie tym wartość gęstości rozkładu normalnego jest największa w całym obszarze awarii, więc ten punkt jest punktem największej wiarygodności.

Znalezienie punktu projektowego sprowadza się do realizacji zadania optymalizacyjnego. W tym celu opracowano wiele algorytmów. Najwcześniejsze, pochodzące z prac Hasofera i Linda oraz Rackwitz’a i Fiesslera, opierają się na procedurach gradientowych. Późniejsze to korzystające z metody sekwencyjnego programowania kwadratowego algorytmy Schittkowskiego oraz Arory. Algorytmy te są ciągle udoskonalane pod kątem zastosowań w oprogramowaniu do obliczeń niezawodnościowych.

Trudno jest wskazać najlepszy algorytm, zwłaszcza że mogą być stosowane różne kryteria, na przykład gwarantowana zbieżność czy najmniejsza liczba operacji. Zależy to w dużej mierze od wymiaru zadania (liczby zmiennych losowych) oraz postaci funkcji stanu granicznego. W niektórych systemach komputerowych, służących obliczeniom niezawodności, stosuje się kilka algorytmów, które uruchamiane są alternatywnie, w zależności od rodzaju postawionego zadania. Najczęściej stosowanymi miarami wrażliwości dla metody FORM są współczynniki wrażliwości (α_i) wskaźnika niezawodności, które definiuje się jako pochodne cząstkowe wskaźnika niezawodności względem poszczególnych parametrów zadania. Poniżej przedstawiono wybraną miarę niezawodności wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda.

Wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda

Rozważmy funkcję stanu granicznego

$$g(X_1, \dots, X_n) \tag{1}$$

w której zmienne losowe X_1 są nieskorelowane. Funkcję stanu granicznego można przedstawić, używając standaryzowanej postaci zmiennych losowych (zmiennych zredukowanych):

$$Z_i = \frac{X_i - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}} \quad \text{oraz} \quad X_i = \mu_{X_i} + Z_i \sigma_{X_i} \tag{2}$$

Zastępując X_1, \dots, X_n zredukowanymi zmiennymi Z_1, \dots, Z_n , otrzymujemy nową funkcję stanu granicznego:

$$g'(Z_1, \dots, Z_n) \tag{3}$$

Wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda definiuje się jako najkrótszą odległość od początku układu przestrzeni zmiennych losowych zredukowanych do granicy opisanej

równaniem stanu granicznego $g' = 0$. Praktycznie znaczy to, że β jest najkrótszą odległością od $(0, \dots, 0)$ do n -wymiarowej powierzchni:

$$g'(Z_1, \dots, Z_n) = 0 \quad (4)$$

Najbliższy punkt położony na powierzchni opisanej równaniem (4) nazywany jest punktem projektowym i oznacza się go $(Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*)$. Jest to najbardziej prawdopodobny punkt awarii spośród wszystkich punktów na tej powierzchni. Jeżeli nastąpi awaria, to najprawdopodobniej właśnie w tym punkcie. Jeśli funkcja stanu granicznego jest liniowa, to obliczenie wskaźnika niezawodności nie następuje problemowo.

Dla $g = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i$ wskaźnik niezawodności oblicza się następująco:

$$\beta = \frac{a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \mu_{X_i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i})^2}} \quad (5)$$

W przypadku nieliniowej funkcji stanu granicznego sytuacja znacznie się komplikuje. W celu określenia położenia punktu projektowego, a następnie obliczenia wskaźnika niezawodności musimy wykorzystać metodę iteracyjną. Procedura iteracyjna polega na rozwiązaniu układu $(2n + 1)$ równań z $(2n + 1)$ niewiadomymi: $\beta, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*$:

$$\alpha_i = \frac{-\left. \frac{\partial g'}{\partial Z_i} \right|_{\text{punkt projektowy}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\left. \frac{\partial g'}{\partial Z_i} \right|_{\text{punkt projektowy}} \right]^2}}; \quad Z_i^* = \beta \alpha_i; \quad g'(Z_1^*, \dots, Z_n^*) = 0; \quad \sum_{i=1}^n (\alpha_i)^2 = 1 \quad (6)$$

Możemy wykorzystać dwie alternatywne procedury iteracyjne: bezpośrednie rozwiązanie układu równań lub procedurę macierzową. Poniżej przedstawiono algorytm każdej z nich.

Algorytm rozwiązania układu równań:

1. Sformułuj funkcję stanu granicznego i określ odpowiednie parametry rozkładów występujących w niej zmiennych losowych X_i .
2. Wyraż funkcję stanu granicznego za pomocą zmiennych losowych zredukowanych Z_i .
3. Wyraż funkcję stanu granicznego za pomocą β i α_i .
4. Oblicz n wartości α_i oraz β .
5. Rozpocznij cykl obliczeń: przyjmij początkowe wartości liczbowe β i wszystkich α_i .
6. Podstaw je do prawych stron równań sformułowanych w kroku 3 i 4.
7. Rozwiąż układ $n + 1$ równań otrzymanych w kroku 6 ze względu na β i α_i .
8. Wróć do kroku 6. Powtarzaj iteracje aż do uzyskania zbieżności β i α_i .

Algorytm procedury macierzowej:

1. Sformułuj funkcję stanu granicznego i określ odpowiednie parametry rozkładów występujących w niej zmiennych losowych X_i .

2. Znajdź początkowy punkt projektowy $\{X_i^*\}$, przyjmując wartości początkowe dla $n - 1$ zmiennych X_i (często dobrze jest przyjąć wartości średnie). Rozwiąż równanie stanu granicznego $g = 0$ względem pozostałej zmiennej losowej. Dzięki temu punkt początkowy będzie należał do granicy obszaru awarii.

3. Oblicz wartości zmiennych zredukowanych $\{Z_i^*\}$, odpowiadających punktowi projektowemu $Z_i^* = \frac{X_i^* - \mu_{X_i}}{\sigma_{X_i}}$.

4. Wyznacz pochodne cząstkowe funkcji stanu granicznego względem zmiennych losowych zredukowanych. Dla wygodę zdefiniuj wektor kolumnowy $\{G\}$:

$$\{G\} = \begin{Bmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ G_n \end{Bmatrix}, \text{ gdzie } G_i = - \left. \frac{\partial g'}{\partial Z_i} \right|_{\text{punkt projektowy}} \quad (7)$$

5. Oblicz przybliżenie β , stosując poniższy wzór:

$$\beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}}, \text{ gdzie } \{Z^*\} = \begin{Bmatrix} Z_1^* \\ Z_2^* \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Z_n^* \end{Bmatrix} \quad (8)$$

6. Oblicz wektor kolumnowy współczynników wrażliwości:

$$\{\alpha\} = \frac{\{G\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} \quad (9)$$

7. Wyznacz nowy punkt projektowy w przestrzeni zmiennych losowych zredukowanych dla $n - 1$ zmiennych:

$$Z_i^* = \beta \alpha_i \quad (10)$$

8. Określ odpowiadający mu punkt projektowy we współrzędnych początkowych dla $n - 1$ zmiennych z kroku 7:

$$X_i^* = \mu_{X_i} + Z_i^* \sigma_{X_i} \quad (11)$$

9. Oblicz wartość pozostałej zmiennej losowej (tj. nieokreślonej w krokach 7 i 8), rozwiązując równanie stanu granicznego $g = 0$.

10. Powtarzaj kroki 3–9, aż do uzyskania zbieżności β oraz współrzędnych punktu projektowego $\{X_i^*\}$.

Procedura obliczania wskaźnika niezawodności (β) według Rackwitza-Fiesslera

Współczynnik niezawodności Hasofera-Linda jest zdefiniowany dla przypadku, kiedy nie są znane rozkłady zmiennych losowych. Jeśli rozkłady są znane, wtedy (β) obliczamy metodą Rackwitza-Fiesslera. Analiza niezawodności prowadzi do wyznaczenia wskaźnika niezawodności (β) oraz znalezienia współrzędnych punktu projektowego $\{Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*\}$. Rozkłady inne niż normalne są zastąpione normalnymi tak, że dystrybuanta i funkcja gęstości mają tę samą wartość dla prawdziwych i zastępczych rozkładów w punkcie projektowym. Poniżej przedstawiono algorytm iteracyjnej procedury Rackwitza-Fiesslera wyznaczającej wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda przy znanych rozkładach zmiennych losowych występujących w funkcji stanu granicznego.

Iteracyjna procedura Rackwitza-Fiesslera:

1. Przygotuj dane:

- 1) funkcję stanu granicznego $g = g(X_1, \dots, X_n)$,
- 2) dystrybuanty dla wszystkich zmiennych F_1, \dots, F_n ,
- 3) funkcje gęstości dla wszystkich zmiennych f_1, \dots, f_n .

2. Wprowadź (zgadnij) współrzędne punktu projektowego X_1^*, \dots, X_n^* (jako pierwsze przybliżenie można przyjąć wartości średnie).

3. Oblicz parametry zastępczych rozkładów normalnych F_1', \dots, F_n' oraz f_1', \dots, f_n' , tak że:

$$F_1'(X_1^*) = F_1(X_1^*), \dots, F_n'(X_n^*) = F_n(X_n^*)$$

$$f_1'(X_1^*) = f_1(X_1^*), \dots, f_n'(X_n^*) = f_n(X_n^*)$$

4. Oblicz β .

5. Oblicz współrzędne następnego punktu projektowego.

6. Wprowadź obliczone współrzędne do wzorów w kroku 3.

Podczas obliczania parametrów zastępczych rozkładów normalnych należy pamiętać, że dla każdej zmiennej losowej X mamy dwa równania i dwie niewiadome (μ i σ):

$$F_X(X^*) = \Phi\left[\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right]; f_X(X^*) = \frac{1}{\sigma_X^e} \phi\left[\frac{X^* - \mu_X^e}{\sigma_X^e}\right] \quad (12)$$

Stąd odchylenie standardowe zastępczego rozkładu normalnego możemy obliczyć ze wzoru:

$$\sigma_X^e = \frac{1}{f_X(X^*)} \phi \left[\Phi^{-1} \left(F_X(X^*) \right) \right] \quad (13)$$

natomiast wartość średnią zastępczego rozkładu normalnego jako:

$$\mu_X^e = X^* - \sigma_X^e \left[\Phi^{-1} \left(F_X(X^*) \right) \right] \quad (14)$$

Obliczanie współrzędnych następnego punktu projektowego dla zastępczych rozkładów normalnych:

$$X_i^* = \mu_{X_i}^e + \beta \alpha_i \sigma_{X_i}^e, \quad \text{gdzie: } \alpha = \frac{\{G\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}}; \quad \beta = \frac{\{G\}^T \{Z^*\}}{\sqrt{\{G\}^T \{G\}}} \quad (15)$$

Jeżeli $g(X_1, \dots, X_n) = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n$, to:

$$X_i^* = \mu_{X_i}^e - \frac{a_i (\sigma_{X_i}^e)^2 \beta}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i}^e)^2}}, \quad \text{gdzie } \beta = \frac{g(\mu_{X_1}^e, \dots, \mu_{X_n}^e)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \sigma_{X_i}^e)^2}} \quad (16)$$

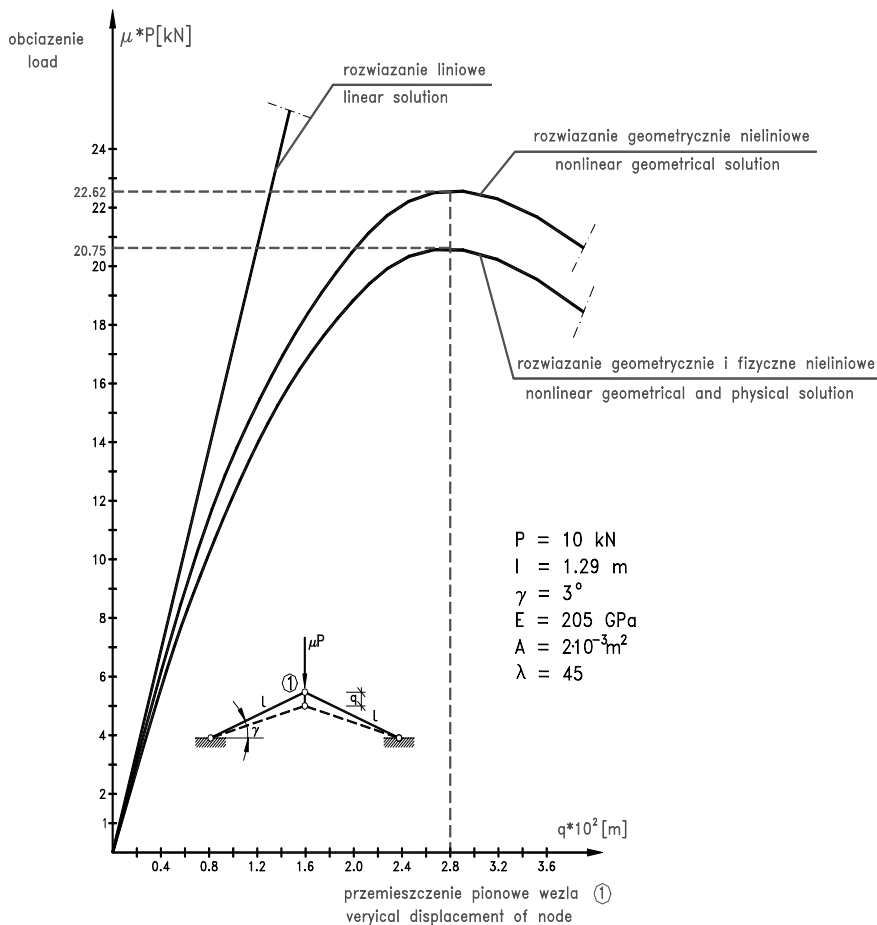
Kolejne iteracje prowadzi się, aż β przestanie ulegać zmianom (gdy zmieniać się będzie o $\pm 0,01$).

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

W pracy zbadano, jak zmienia się wartość wskaźnika niezawodności Hasofera-Linda, a tym samym prawdopodobieństwo awarii w zależności od przyjętego typu rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej w miarę zbliżania się do wartości granicznej obciążenia. Analizowaną konstrukcją jest kratownica Missesa. W pierwszej części pracy określono ścieżkę równowagi węzła centralnego kratownicy. Obliczenia numeryczne po wprowadzeniu nieliniowego modelu konstytutywnego pręta ściskanego [Kowal i Radoń 1995] przyniosły zmniejszenie wartości obciążenia granicznego rzędu 9%. Na podstawie współrzędnych punktu granicznego sformułowano funkcję graniczną jako warunek nieprzekraczalności dopuszczalnego obciążenia pionowego węzła 1. Zaproponowany warunek jest bardzo istotny w przypadku konstrukcji podatnych na utratę stateczności globalnej z warunku przeskoku węzła.

Do analizy problemów niezawodności mało wyniosłej konstrukcji kratowej wykorzystano, jako miarę niezawodności, wskaźnik niezawodności Hasofera-Linda, do którego obliczenia zastosowano algorytm iteracyjnej procedury Rackwitz-Fiesslera. Tę samą

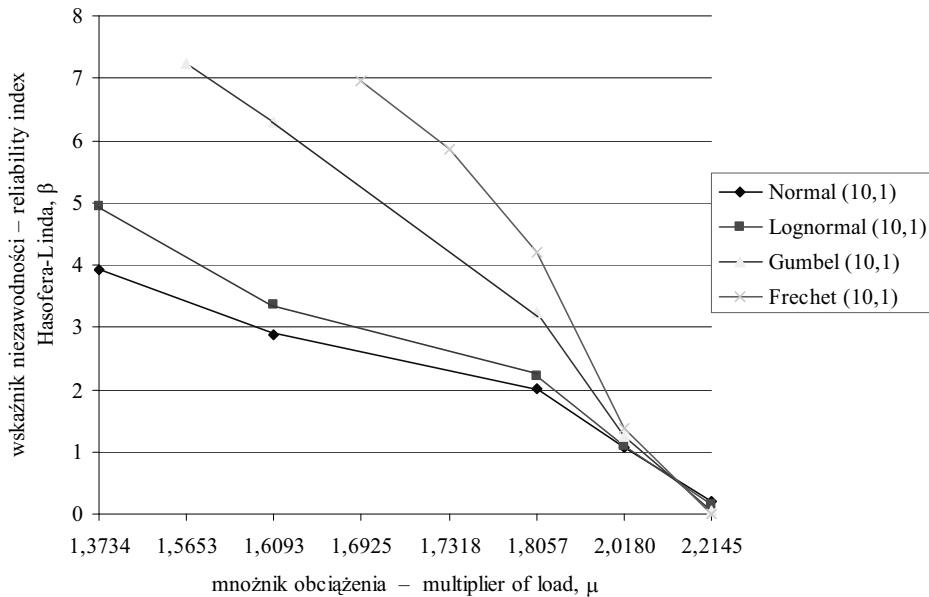
procedurę wykorzystano do określenia współrzędnych punktu projektowego. Odpowiadając na pytanie, co daje nam włączenie do analizy stateczności metod analizy niezawodności, należy stwierdzić, że korzystając z nich – poruszając się po ścieżce równowagi konstrukcji – możemy określić, z jakim poziomem prawdopodobieństwa awarii zbliżamy się do punktu granicznego. W pracy jako zmienne losowe przyjęto obciążenie. Rozkłady prawdopodobieństwa zmiennych losowych przyjmowane są spośród kilku najczęściej stosowanych w praktyce (rys. 1).



Rys. 1. Ścieżka równowagi kratownicy
Fig. 1. The equilibrium path of truss structure

PODSUMOWANIE

Obliczenia probabilistyczne przeprowadzono, stosując metodę FORM. Do obliczeń wykorzystano program do analizy niezawodności STAND zbudowany w IPPT PAN [Knabel i in. 2008]. Z przedstawionego wykresu (rys. 2) widać wpływ przyjętego typu



Rys. 2. Wpływ przyjętego typu rozkładu prawdopodobieństwa na wartość wskaźnika niezawodności Hasofera-Linda

Fig. 2. Influence different probability density functions on Hasofer-Lind reliability index

rozkładu prawdopodobieństwa na wartość wskaźnika niezawodności Hasofera-Linda. Można zauważyć, jak istotnym zagadnieniem w analizie niezawodności jest przyjęcie prawidłowego opisu stochastycznego. Niekompletne dane statystyczne oraz niewłaściwie przyjęte założenia dotyczące rozkładów prawdopodobieństwa mogą prowadzić do poważnych różnic w ocenie bezpieczeństwa konstrukcji.

W podejściu stochastycznym w mechanice konstrukcji kluczowym zagadnieniem jest zebranie danych doświadczalnych dotyczących parametrów pól losowych konstrukcji i obciążeń. Ze względu na to, że dostępne wyniki badań są na ogół niewystarczające do prowadzenia analiz probabilistycznych, wśród inżynierów widoczny jest opór przed stosowaniem metod probabilistycznych. Dotyczy to również probabilistycznych metod numerycznych, jak na przykład stochastycznej metody elementów skończonych, których złożoność jest w istocie ukryta wewnątrz programów komputerowych. Dodatkowy wysiłek inżyniera jest tu potrzebny przy charakteryzowaniu danych dwoma parametrami (wartością oczekiwaną i współczynnikiem zmienności) w miejsce jednego parametru wymaganego w metodach deterministycznych. Konieczne jest więc dostarczenie inżynierom algorytmów umożliwiających oszacowanie parametrów statystycznych zmiennych występujących w analizie na podstawie podręcznych danych.

PIŚMIENNICTWO

Bergan P.G., Soreide T.H., 1977. Solution of large displacement and stability using the current stiffness parameter. Conference "Finite Elements in nonlinear Mechanics", Geilo, 647–669.

- Knabel J., Kolanek K., Nguyen Hoang V., Stocki R., Tazowski P., 2008. Structural reliability analysis using object oriented environment STAND. Proc. of the 36th Solid Mechanics Conference, 9–12 September 2008, Gdańsk.
- Kowal Z., Radoń U., 1995. Proposal of constitutive law of compressed bars to determination limit load-capacity truss structure. Eng. and Struc. 12.
- Kowal Z., Sendkowski J., Radoń U., 1991. Equilibrium paths of space structures taking into account the real work of their elements. 10th Polish Conf. Comp. Meth. Mech. Struct. Świnoujście, 381–388.
- Melchers R.E., 1999. Structural reliability analysis and prediction. Wiley, New York.
- Nowak A.S., Collins K.R., 2000. Reliability of structures. McGraw-Hill Higher Education.
- Riks E., 1979. An incremental approach to the solution of snapping and buckling problems. Int. J. Solids Struct. 15.
- Stocki R., 1999. Reliability-based optimization of geometrically nonlinear truss structures – theory and computer program. Ph.D. Thesis, Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences, IFTR Reports. 13 (in Polish).

RELIABILITY ANALYSIS OF TRUSS STRUCTURE

Abstract. In the paper the Hasofer-Lind index is applied for determining the probability of stability loss truss structure under random load. In 1974 Hasofer-Lind proposed a modified reliability index that did not exhibit the invariance problem. The “correction” is to evaluate the limit state function at a point known as the “design point” instead of the mean values. The design point is generally not known a priori, an iteration technique must be used to solve for the reliability index. The paper shows how changes reliability index under influence different probability density function.

Key words: design point, probability density function, reliability index

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 20.08.2009