

Projektowanie konstrukcji wspomagane analizą ryzyka

Szczepan Woliński

*1 Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska,
Politechnika Rzeszowska, e-mail: szwolkkb@prz.edu.pl*

Streszczenie: Zniszczenie konstrukcji budowlanych jest najczęściej spowodowane splotem wielu przyczyn, których statystyczny opis jest bardzo trudny, a często niemożliwy. Projektowana lub obliczona niezawodność konstrukcji jest w takiej sytuacji jedynie miarą umożliwiającą porównanie teoretycznej niezawodności różnych konstrukcji oszacowanej na podstawie przyjętej miary i metody oceny. Ze względu na trudności związane z szacowaniem prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożeń oraz konsekwencji i kosztów awarii i katastrof, również analiza ryzyka dostarcza bardzo niepewnej informacji na temat rzeczywistego poziomu bezpieczeństwa konstrukcji. W pracy przedstawiono propozycję pośredniego podejścia do probabilistycznego projektowania konstrukcji opartej nie tylko na określonych oddziaływaniach, ale również na zdolności konstrukcji do przetrwania w wyjątkowych, nietypowych i nieprecyzyjnie zdefiniowanych warunkach. Wymaga to wstępnej analizy ryzyka poprzedzającej standardowe procedury wymiarowania elementów konstrukcji.

Słowa kluczowe: konstrukcje budowlane, zdarzenia katastrofalne, konsekwencje, projektowanie wspomagane analizą ryzyka

1. Wprowadzenie

We współczesnych, probabilistycznych metodach projektowania konstrukcji budowlanych uwzględnia się standardowe kombinacje oddziaływań zależne od sytuacji obliczeniowej i rozważanego stanu granicznego a przedmiotem obliczeń jest oszacowanie prawdopodobieństwa przekroczenia ustalonych stanów granicznych [1]. Stany graniczne są zazwyczaj definiowane jako graniczne w sensie prawnym, a dopuszczalne prawdopodobieństwa ich przekroczenia są ustalane zgodnie z „zasadą afirmacji stanu faktycznego” jako nominalne, znacznie różniące się od obserwowanej częstości uszkodzenia i zniszczenia konstrukcji. Statystyki katastrof i poważnych awarii konstrukcji wskazują wyraźnie, że przyczyną zniszczenia lub wyłączenia konstrukcji z eksploatacji jest jedynie sporadycznie efekt oddziaływań uwzględnionych w ramach standardowej analizy [2, 3]. Najczęściej jest to rezultat wystąpienia zdarzenia katastrofalnego lub splotu wielu zdarzeń nieuwzględnionych w analizie konstrukcji. W związku z tym, nasuwa się pytanie czy w celu zapewnienia „należytego poziomu niezawodności” [1] wystarczy odpowiedź na pytanie o wartość prawdopodobieństwa przekroczenia stanu granicznego lub nawet zniszczenia konstrukcji. Negatywna odpowiedź na to pytanie wydaje się oczywista. Równie ważne jest bowiem pytanie o konsekwencje zniszczenia lub uszkodzenia, zarówno lokalnego, jak i katastrofy całej konstrukcji lub jej znacznej części, czyli podejście oparte na analizie konsekwencji zniszczenia. Pełna integracja obu wymienionych sposobów projektowania prowadzi do projektowania opartego na analizie nośności i ryzyka [4, 5]. Ze względu na trudności związane z ilościowym określeniem konsekwencji zniszczenia konstrukcji, w szczególności pośrednich i związanych z

określeniem wartości życia i zdrowia ludzi, które są szacowane za pomocą różnie definiowanych wskaźników jakości życia, kompleksowa analiza ilościowa ryzyka jest nader problematyczna. W pracy przedstawiono propozycję podejścia pośredniego, uwzględniającego zarówno standardową analizę probabilistyczną i wspomagającą ją analizę konsekwencji, będącą uproszczoną analizą ryzyka.

2. Ograniczenia metod probabilistycznych i opartych na analizie ryzyka

W probabilistycznych metodach projektowania podstawową miarą niezawodności konstrukcji jest prawdopodobieństwo $q = 1 - p_f$, że w założonym okresie użytkowania T nie zostaną przekroczone uwzględnione w obliczeniach stany graniczne nośności. Standardowe definicje niezawodności mogą stwarzać mylne wrażenie, że przyczyna lub przyczyny zniszczenia konstrukcji są znane i precyzyjnie określone [1], a ograniczenia utrudniające wdrożenie metod probabilistycznych do praktyki projektowej wynikają z braku kompletnych i wiarygodnych statystyk umożliwiających identyfikację zmiennych stanu o losowym charakterze, ustalenie dopuszczalnej wartości prawdopodobieństwa przekroczenia stanów granicznych p_{fd} oraz z komplikacji obliczeniowych. Znacznie bardziej istotną przyczyną tych ograniczeń są jednak niepewności związane z określeniem oddziaływań i ich kombinacji, które decydują o przekroczeniu stanów granicznych i zniszczeniu konstrukcji. Inaczej mówiąc, oddziaływania i ich kombinacje uwzględniane w standardowych obliczeniach konstrukcji z reguły nie decydują o jej niezawodności. Dotyczy to również standardowych oddziaływań wyjątkowych. Ponadto, niepewności związane z ustaleniem przyczyn i mechanizmów zniszczenia konstrukcji mają najczęściej charakter nielosowy.

W normie PN-EN 1991-1-7 [6] sformułowano dwie strategie projektowania konstrukcji w wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych: opartej na określonych wartościach oddziaływań wyjątkowych i polegającej na ograniczeniu zasięgu zniszczenia konstrukcji. Pierwsza z nich wymaga ustalenia konkretnego oddziaływania wyjątkowego i jego wartości, a druga określenia dopuszczalnej skali zniszczenia. Obie strategie mieszczą się w ramach uproszczonego podejścia probabilistycznego.

W normach ISO 13824 [7] i PN-EN 1991-1-7 [6], ryzyko zniszczenia konstrukcji R zdefiniowano jako miarę kombinacji prawdopodobieństw wystąpienia określonych zdarzeń i ilościowo wyrażonych konsekwencji ich wystąpienia:

$$R = \sum_{i=1}^{N_H} p(H_i) \sum_j^{N_D} \sum_{k=1}^{N_S} p(D_j | H_i) p(S_k | D_j) C(S_k) \quad (1)$$

gdzie: N_H – liczba zdarzeń (zagrożeń), N_D – liczba różnych sposobów uszkodzenia, N_S – liczba niekorzystnych stanów konstrukcji S_k , powodujących konsekwencje $C(S_k)$, $p(H_i)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia i , $P(D_j | H_i)$ – warunkowe prawdopodobieństwo stanu uszkodzenia j powodującego zagrożenie i , $p(S_k | D_j)$ – warunkowe prawdopodobieństwo stanu S_k powodującego stan D_j uszkodzenia S_k .

Ilościowo określone ryzyko wydaje się bardzo obiecującym kryterium optymalizacji niezawodności konstrukcji i kalibracji jej miar stosowanych w probabilistycznych metodach projektowania konstrukcji. Jednak ze względu na trudności związane z oceną prawdopodobieństw warunkowych i konsekwencji uszkodzeń, przydatność i dokładność formuły (1) jest problematyczna. W szczególności wybór i określenie wartości miar konsekwencji utraty życia i zdrowia ludzi budzi poważne kontrowersje natury etycznej [7, 8].

3. Koncepcja podejścia mieszanego

3.1. Uwagi o analizie konsekwencji

Projektowanie oparte na kryteriach probabilistycznych, uzupełnione o analizę odporności konstrukcji na oddziaływania wyjątkowe i zdarzenia katastrofalne, jest *implicit*e obecne we współczesnych normach. Jakościowa analiza konsekwencji uszkodzeń i ryzyka jest zawarta w Eurokodach w formie zaleceń konstrukcyjnych i związanych z zapobieganiem i ograniczeniem skutków oddziaływań wyjątkowych. Niestety, w odniesieniu do ilościowej oceny ryzyka normowe procedury postępowania są ogólnikowe, wymagają sprecyzowania dodatkowych założeń oraz ustalenia wartości trudnych do oszacowania parametrów i prawdopodobieństw warunkowych. Dodatkowym utrudnieniem jest brak zgodności metody projektowania zalecanej w Eurokodach konstrukcyjnych, tzn. metody częściowych współczynników (półprobabilistycznej) i w pełni probabilistycznej metody oceny ryzyka według PN-EN 1991-1-7 Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania wyjątkowe [6]. W związku z tym, racjonalne wydaje się poszukiwanie podejścia mieszanego, polegającego na uproszczonej ocenie ryzyka dla określonych zagrożeń, oszacowaniu niezbędnej nośności resztkowej konstrukcji i/lub jej elementów kluczowych decydujących o ograniczeniu ryzyka do akceptowalnego poziomu, a następnie analizie i wymiarowaniu elementów z uwzględnieniem kryterium niezawodności.

Analiza konsekwencji ma na celu minimalizację ryzyka związanego z poważnym uszkodzeniem lub zniszczeniem elementów i całej konstrukcji. Polega ona na oszacowaniu możliwości wystąpienia zdarzeń katastrofalnych, konsekwencji i kosztów uszkodzenia lub zniszczenia konstrukcji, a jej celem jest określenie resztkowej nośności elementów kluczowych, niezbędnej do uniknięcia katastrofy konstrukcji po przekroczeniu stanu granicznego nośności (ULS) lub ograniczenia zasięgu zniszczenia. Weryfikację stanów ULS można przeprowadzić metodą półprobabilistyczną lub probabilistyczną.

W normie PN-EN 1991-1-7 [6] zdefiniowano, w zależności od rodzaju i sposobu użytkowania budynku, cztery klasy konsekwencji: 1 i 2a – grupy niższego ryzyka oraz 2b i 3 – grupy wyższego ryzyka. Dla poszczególnych klas konsekwencji podano zalecane strategie postępowania zapewniające „zadowalający poziom odporności”. Wymagania dotyczące odporności całej konstrukcji sprowadzono głównie do zapewnienia konstrukcji odpowiedniej sztywności przestrzennej. Dla budynków zliczonych do klasy konsekwencji 2a wymagane jest dodatkowo zastosowanie skutecznych stężeń poziomych i pionowych oraz zakotwień stropów, a w klasie 2b ponadto sprawdzenie stateczności całego budynku i zasięgu zniszczeń po usunięciu dowolnej belki głównej, a także dowolnego słupa lub/i odcinka ściany nośnej. Dla budynków klasy 3 zaleca się przeprowadzenie systematycznej oceny ryzyka, z uwzględnieniem zagrożeń przewidywalnych i nieprzewidywalnych. Oprócz zdefiniowanych w normie kluczowych elementów konstrukcji, ze względu na znaczenie i rolę jaką pełnią elementy konstrukcyjne zasadne wydaje się wyróżnienie elementów głównych i drugorzędnych. Zakładając, że podstawowym kryterium konsekwencji zniszczenia konstrukcji jest zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, w tabeli 1 przedstawiono propozycję klasyfikacji konsekwencji, minimalną nośność resztkową R_{rez} , zalecany okres resztkowej zdatności konstrukcji T_{rez} oraz dopuszczalne wartości prawdopodobieństwa zniszczenia wskutek zdarzeń katastrofalnych p_{fd} .

Tabela 1. Konsekwencje zniszczenia elementów budynku

Rola elementu	Zagrożenie / dostępność budynku	Resztkowa nośność / / okres resztkowej zdatności	Prawdopodobieństwo p_{fd} w okresie odniesie- nia / wskaźnik niezawod- ności β
kluczowy	bardzo duże / powszechna	0,20 / Tu	2,8E-10 / 6,2
kluczowy	przeciętne / ograniczona	0,15 / Tu	1,1E-8 / 5,6
kluczowy	niewielkie / utrudniona	0,10 / 7 dni	1,0E-7 / 5,2
główny	bardzo duże / powszechna	0,15 / 7 dni	1,3E-6 / 4,7
główny	przeciętne / ograniczona	0,10 / 24 godz.	1,3E-5 / 4,2
główny	niewielkie / utrudniona	0,10 / 2 godz.	7,2E-5 / 3,8
drugorzędny	bardzo duże / powszechna	0,10 / 24 godz.	7,2E-5 / 3,8
drugorzędny	przeciętne / ograniczona	0,10 / 2 godz.	2,6E-3 / 2,8
drugorzędny	niewielkie / utrudniona	0,10 / 15 min.	1,1E-2 / 2,3

Nawiązując do wskazówek zawartych w normach i literaturze [] skalę zagrożenia życia i zdrowia ludzi przebywających w budynkach odniesiono do liczby zagrożonych osób: zagrożenie bardzo duże dotyczy grupy kilkudziesięciu osób (ponad 20), średnie od kilku do kilkunastu osób (5 – 20) i niewielkie kilku osób (do 5). Nośność resztkową R_{rez} odniesiono do najmniejszej nośności granicznej R_{uls} , i wyrażono jako iloraz R_{rez} / R_{uls} . Proponowane wartości okresu zdatności T_{rez} można uzasadnić jako: 15 minut – czas na szybką ucieczkę, 2 godz. – czas na ewakuację ludzi, wydzielenie i zablokowanie dostępu do zagrożonej części budynku i jej otoczenia, 24 godz. – czas na tymczasowe zabezpieczenie uszkodzonego elementu, 7 dni – na wykonanie trwałego zabezpieczenia elementu, T_u – projektowany okres odniesienia. Proponowane wartości R_{rez} zostały dobrane ze względu na bezpieczeństwo ludzi i mogą być dalekie od optymalnych ze względu na koszty miary niezawodności.

Dokładne określenie prawdopodobieństw wystąpienia zagrożeń, jak i ich konsekwencji jest w praktyce nieosiągalne. Uwzględniając wpływ kontroli jakości procesie projektowania i wykonawstwa konstrukcji zmienne p i C można opisać za pomocą liczb rozmytych \tilde{p} i \tilde{C} o funkcjach przynależności μ_p i μ_C [9, 10]:

$$\tilde{p} = (1 - \tilde{\eta})\tilde{p}_b + \tilde{\eta} \cdot \tilde{p}_k \quad (2)$$

gdzie: $\tilde{\eta}$ - rozmyty współczynnik wyrażający stopień skuteczności kontroli o wartości z przedziału [0, 1], \tilde{p}_b i \tilde{p}_k - rozmyte prawdopodobieństwa w warunkach braku kontroli i przy zapewnieniu kontroli o różnym poziomie. Zmienną C można uznać za mierzalną ale na ogół nie poddającą się kontroli.

Rozmyte prawdopodobieństwo można zdefiniować w następujący sposób [10]:

$$\tilde{p} = \int_R \mu(x)f(x)dx \quad (3)$$

gdzie $f(x)$ - funkcja gęstości rozkładu ciągłej zmiennej losowej X .

Funkcje przynależności zmiennych μ_p i μ_C można przyjąć jako „trójkątne”, zdefiniowane za pomocą trójki liczb wyrażających wartość dominującą zmiennej o całkowitej przynależności m_X oraz dwóch liczb określających przedział zmienności $[a_X, b_X]$:

$\mu_X = (m_X, a_X, b_X)$. Resztkową nośność, okres zdatności i prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia w okresie odniesienia sugerowane w Tab. 1 należy w tym kontekście traktować jako wartości dominujące odpowiednich zmiennych rozmytych.

3.2. Procedura projektowania wspomagane analizą ryzyka

W celu umożliwienia przetrwania konstrukcji w wyjątkowych, nietypowych i/lub nieprecyzyjnie zdefiniowanych sytuacjach obliczeniowych przedstawiono poniżej propozycję uproszczonej analizy ryzyka poprzedzającej standardowe procedury probabilistycznego wymiarowania elementów konstrukcji oparte na określonych oddziaływaniach. Zakładając statystyczną niezależność zagrożeń uwzględnionych w analizie ryzyka, sumaryczne oszacowanie konsekwencji i rozmyty charakter rozważanych zmiennych losowych, uproszczoną ocenę ryzyka można obliczyć ze wzoru:

$$\tilde{R} = \sum_{i=1}^n \tilde{p}(H_i) \tilde{C}(H_i) \quad (4)$$

Probabilistyczną procedurę projektowania konstrukcji wspomagane uproszczoną analizą ryzyka można przedstawić w następujących punktach:

1. Dla obiektu budowlanego o określonym ustroju konstrukcyjnym i przeznaczeniu, ustalonym sposobie użytkowania i warunkach środowiskowych, zdefiniować prawdopodobne zagrożenia H_i , $i = 1, 2, \dots, n$ oraz oszacować ich rozmyte prawdopodobieństwa $\tilde{p}(H_i)$.
2. Ocenic względne konsekwencje rozważanych zagrożeń, np. odniesione do kosztów inwestycji, traktowane jako liczby rozmyte $\tilde{C}(H_i)$.
3. Określić ryzyko związane z poszczególnymi zagrożeniami $\tilde{R}_i = \tilde{p}(H_i) \tilde{C}(H_i)$

oraz całkowite ryzyko $\tilde{R} = \sum_{i=1}^n \tilde{R}_i$, i ustalić zagrożenia, z którymi wiążą się zna-

czące ryzyka. Akceptowalne poziomy ryzyk cząstkowych i ryzyka całkowitego oraz dopuszczalne wartości prawdopodobieństw zniszczenia wskutek rozważanych zdarzeń katastrofalnych p_{fd} , niezbędne w probabilistycznych metodach projektowania konstrukcji można przyjąć np. według propozycji autora niniejszej pracy [12].

4. Wybrać jedną z uzasadnionych strategii projektowania na oddziaływania wyjątkowe, np. według PN-EN 1991-1-7 [6]: opartą na przeniesieniu obciążeń wynikających z zajścia określonego zdarzenia katastrofalnego lub zapewnieniu alternatywnych „ścieżek obciążenia” i wtórnych ustrojów nośnych zapewniających ograniczenie zasięgu zniszczeń.
5. Korzystając z wybranej metody projektowania, np. półprobabilistycznej metody częściowych współczynników lub metody wskaźnika niezawodności oraz wybranej strategii postępowania w sytuacjach wyjątkowych, zwymiarować elementy kluczowe, oraz wybrane elementy główne z uwzględnieniem dopuszczalnych wartości p_{fd} , np. według propozycji zawartych w tabeli 1.
6. Zwymiarować pozostałe elementy konstrukcji na standardowe oddziaływania właściwe dla odpowiednich sytuacji obliczeniowych i stanów granicznych zgodnie z aktualnymi normami projektowania.

7. Sprawdzić resztkową nośność konstrukcji uszkodzonej po wystąpieniu zdarzeń katastrofalnych dla oddziaływań o wartościach odniesionych do przyjętego okresu resztkowej zdatności (np. według tablicy 1).

4. Kształtowanie konstrukcji z uwzględnieniem możliwości wystąpienia zdarzeń katastrofalnych

Projektowanie konstrukcji w wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych opiera się współcześnie na dwóch podstawowych strategiach: opartej na określonych wartościach oddziaływań lub polegającej na ograniczeniu zasięgu zniszczeń. W celu zabezpieczenia konstrukcji przed skutkami nieprzewidywalnych zdarzeń katastrofalnych stosuje się ponadto odpowiednie do projektowanego ustroju konstrukcyjnego stężenia poziome i pionowe. Na przykład w budynkach o żelbetowej konstrukcji są to systemy wiążące i odpowiednio zakotwione, ciągłe wieńce poziome obwodowe i wewnętrzne oraz łączące słupy lub ściany, a także odpowiednie powiązania pionowe [11].

W praktyce projektowej uzyskanie wymaganej odporności na zdarzenia katastrofalne wiąże się z odpowiednim kształtowaniem konstrukcji, które współcześnie łączy podejście tradycyjne, w znacznym stopniu oparte na wiedzy i intuicji projektanta, z wielokryterialną optymalizacją konstrukcji. Zarówno kształtowanie intuicyjne, jak i oparte na optymalizacji wymaga ustalenia odpowiednich kryteriów, a w przypadku optymalizacji również ich kwantyfikacji. Do ważniejszych czynników decydujących o kształtowaniu konstrukcji o wymaganej odporności i sposobach jej zapewnienia należy zaliczyć:

1. Nośność elementów, połączeń i całej konstrukcji, którą można zapewnić metodą bezpośrednią (nośności na określone wartości oddziaływań wyjątkowych).
2. Integralność i eliminacja słabych miejsc konstrukcji.
3. Możliwość powstania wtórnego ustroju nośnego w przypadku miejscowego zniszczenia elementu głównego konstrukcji (np. ciągnowego).
4. Zapewnienie alternatywnych ścieżek przekazywania obciążeń (statycznej niewyznaczalności konstrukcji).
5. Eliminacja możliwości kruchego zniszczenia (umożliwienie plastycznej redystrybucji sił wewnętrznych i znacznych odkształceń plastycznych).
6. Zastosowanie odpowiednio usytuowanych elementów kluczowych pełniących rolę zabezpieczeń przed zniszczeniem progresywnym.
7. Wykorzystanie nośności resztkowej elementów i połączeń (wzmocnienie plastyczne, nośność resztkowa elementów po utracie stateczności).
8. Zastosowanie biernych i czynnych urządzeń mechanicznych umożliwiających dysypację energii, kontrolę przemieszczeń i/lub sił wewnętrznych.
9. Lokalizacja i rodzaj urządzeń umożliwiających systematyczne monitorowanie stanu technicznego konstrukcji i zagrożeń.
10. Zapewnienie możliwości sprawnej ewakuacji i szybkiego doraźnego zabezpieczenia uszkodzonych sekcji i elementów konstrukcji.

Poszczególne czynniki decydujące o wymaganej odporności i sposoby jej zapewnienia mogą być istotne i skuteczne jedynie w odniesieniu do niektórych obiektów i ustrojów konstrukcyjnych i tylko w określonych okolicznościach. Decydują o tym przede wszystkim charakter zdarzenia katastrofalnego i rodzaj konstrukcji rozważanego obiektu.

5. Podsumowanie

W zalecanych współcześnie probabilistycznych metodach projektowania konstrukcji budowlanych uwzględnia się standardowe kombinacje oddziaływań dla wybranych sytuacji obliczeniowych i stanów granicznych, w tym sytuacji wyjątkowych. Teoretycznie, zagadnienie zapewnienia wymaganej odporności konstrukcji na zdarzenia katastrofalne można sprowadzić do klasycznego zadania optymalizacji wielokryterialnej. Jednak ilościowa ocena parametrów, zmiennych, ograniczeń i kryteriów niezbędnych do prawidłowego sformułowania problemu optymalizacji odporności konstrukcji na oddziaływanie wywołane przez zdarzenia katastrofalne jest obciążona bardzo dużą, często trudną do oszacowania niepewnością. W rezultacie końcowa ocena odporności jest prawie zawsze oceną jakościową i wysoce subiektywną. Nie oznacza to jednak, że taka subiektywna i rozmyta informacja jest bezwartościowa. W praktyce, dla doświadczonego i obdarzonego intuicją projektanta jest cenną pomocą ułatwiającą kształtowanie i wymiarowanie konstrukcji odpornych na zagrożenia spowodowane zdarzeniami katastrofalnymi.

Literatura

- 1 PN-EN 1990:2004. Podstawy projektowania konstrukcji. PKN, Warszawa, 2004.
- 2 Matousek M. Outcomings of a survey on 800 construction failures. IABSE Colloquium of Inspection and Quality Control, Cambridge, England, July 1977.
- 3 Urban A. Katastrofy budowlane w roku 2006 i analiza katastrof w latach 1995-2006. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna: Awary budowlane, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2007.
- 4 ISO Standard 2394:1998. General principles on reliability for structures. ISO, Geneva, 1998.
- 5 ISO Standard 13824:2009. General principles on risk assessment of systems involving structures. ISO, Geneva, 2009.
- 6 PN-EN 1991-1-7: 2008. Oddziaływania na konstrukcje. Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wyjątkowe. PKN, Warszawa, 2008.
- 7 Lind N. Tolerable risk. Proc. International Conference on Safety, Risk and Reliability in Engineering. IABSE, CIB, fib, RILEM, ECCS, Malta, 23-28 (2001).
- 8 Rakwitz R. Discounting for optimal and acceptable technical facilities involving risk. Journal Heron, 49 (2), 139-170 (2004).
- 9 Woliński Sz. Defining of the structural robustness. Bulletin of the Polish academy of Sciences, Technical Sciences, Vol. 61, No. 1, 1-8, (2013).
- 10 Bandemer H. Gottwald S. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Methods with Applications. J. Wiley & Sons, Chichester, 1995.
- 11 PN-EN 1992-1-1:2004+AC:2008. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków. PKN, Warszawa, 2008.

Risk aided design of building structures

Szczepan Woliński

*Department of Building Structures, Faculty of Civil and Environmental Engineering,
Rzeszów University of Technology, e-mail: szwolkkb@prz.edu.pl*

Abstract: The potential failure of building structures usually arises from a combination of many unspecified causes or catastrophic events whose statistical description is highly uncertain and often impossible. Assumed or calculated reliability of the structure in a case is just a notional measure that can be used to compare the relative safety level of different structures in similar circumstances. Due to the difficulties associated with the estimation of the probability of different hazards as well as the assessment of consequences and costs of the structural damage and failure, also the risk analysis provides very uncertain information on the actual level of safety of a structure. The paper presents a proposal for an indirect approach to the probabilistic design of structures based not only on specific actions, but also on the ability of the structure to survive in the unique, unusual and vaguely defined circumstances. It requires a preliminary risk analysis before the standard procedures for shaping and dimensioning design elements will be applied.

Keywords: building structures, catastrophic events, consequences, risk aided design