



SPECYFIKACJA ELEMENTÓW NIEZAWODNOŚCI ZADASZENIA STADIONU ŚLĄSKIEGO W CHORZOWIE

MARIAN GWÓŹDŹ, *margwozd@interia.pl*
Politechnika Krakowska

Streszczenie: Projektowanie konstrukcji budowlanych według współczesnej generacji norm europejskich jest oparte na formacji wymiarowania metodą współczynników obciążenia i nośności. Jest to odmiana metody stanów granicznych, która różni się od podobnej formacji wprowadzonej w Polsce w latach 70 ubiegłego wieku. Podstawy merytoryczne i formalne tej metody są sformułowane w Eurokodzie 1990 oraz w europejskich normach wykonania konstrukcji. W referacie przeprowadzono specyfikację elementów niezawodności dla konstrukcji nośnej zadaszenia Stadionu Śląskiego w Chorzowie, uwzględniając zasady różnicowania niezawodności według Eurokodu 1990. Rezultaty specyfikacji opracowano w formie karty niezawodności obiektu. Zaproponowano także, dla konstrukcji budowlanych należących do klasy konsekwencji CC3, zastąpienie normowej prognozy obciążeń klimatycznych danymi statystycznymi, rejestrowanymi na stacjach meteorologicznych w okresie wieloletnim.

Słowa kluczowe: zadaszenie stadionu, wymagania niezawodności, współczynniki częściowe, klasy niezawodności, klasy wykonania.

1. Weryfikacja elementów niezawodności według projektu budowlanego

Realizacja konstrukcji zadaszenia Stadionu Śląskiego została wstrzymana po awarii systemu ciągnowego w dniu 15.07.2011 r., w trakcie podnoszenia konstrukcji linowej, por. rys. 1. Uszkodzone zostały segmenty łącznikowe w dwóch osiach systemowych, na łączną liczbę 40. osi mocowania lin. Był to poważny incydent budowlany, który skłonił Urząd Powiatowego Inspektora Nadzoru Budowlanego do wstrzymania pozwolenia na budowę, a Inwestora do sformułowania postulatu weryfikacji dokumentacji projektowej wg której realizowano zadanie inwestycyjne modernizacji Stadionu Śląskiego w Chorzowie.

Konstrukcję zadaszenia zaprojektowało Biuro Projektowe Schlaich Bergermann und Partner (sbp GmbH), Stuttgart 2009 [2]. W projekcie tym zamieszczono między innymi obliczenia statyczne tzw. konstrukcji stalowej pierwotnej (KSP – blachownicowe pierścienie obwodowe i słupy), obliczenia lin i konstrukcji stalowej wtórnej (LiKPP – konstrukcja prętowa pokrycia dachu). Wyciąg z tego projektu stanowił integralną część projektu budowlanego [6], na podstawie którego wydano decyzję o pozwoleniu na budowę. Przyjętą w projekcie budowlanym [6] formację obliczeń przedstawiono w rozdziale A1 tego opracowania. Przywołano tam metodę współczynników nośności i obciążenia w wersji opublikowanej w normie niemieckiej DIN 1055-100 [1]. Jest to metoda zbieżna z formacją obliczeń przyjętą w eurokodzie PN-EN 1990:2004 [3]. W normie niemieckiej [1], wydanej w 2001 r., brakuje jednak odpowiednich zapisów dotyczących różnicowania niezawodności, zamieszczonych w normie PN-EN 1990 (wydanej w 2004 r.) w Załącznikach B, C i D, które decydują o specyfikacji elementów niezawodności zadaszenia trybun Stadionu Śląskiego.

Autorzy projektu budowlanego [6] w obliczeniach stanów granicznych nośności (LS) uwzględnili wieloźródłowe obciążenia charakterystyczne konstrukcji zadaszenia oraz wartości współczynników obciążenia przyporządkowane obciążeniom wg tabeli 1.



Rys. 1. Zaawansowanie budowy do awarii systemu linowego zadaszania (stan w 2012 r.)

Tabela 1. Wartości współczynników obciążenia dla przypadków obciążeń wg projektu budowlanego

Ciężar dachu	TGA	Naciąg wstępny lin	Temperatura lato	Temperatura zima	Śnieg 100%	Śnieg 100/50%	Śnieg 100/50% -0°	Śnieg 100/50% -270°	Wiatr KSP - 90°	Wiatr KSP - 0°	Wiatr KSP - 270°	Wiatr LiKPP - 90°	Wiatr LiKPP - 0°	Wiatr LiKPP - 270°
G_k	Q_k	P_k	T_k		S_k				W_k					
1,35	1,62	1,00												
0,90	0,90	1,00	1,50											
1,35	1,62	1,00		1,50										
1,35	1,62	1,00			1,50									
1,35	1,62	1,00				1,50								
1,35	1,62	1,00					1,50							
1,35	1,62	1,00						1,50						
0,90	0,90	1,00							1,50			1,50		
0,90	0,90	1,00								1,50			1,50	
0,90	0,90	1,00									1,50			1,50

W szczególności uwzględniono ciężar własny konstrukcji pierwotnej, pokrycia dachu, lin i pławki G_k ; obciążenia technologiczne Q_k : od oświetlenia, nagłośnienia i monitorów video; siły wstępnego naciągu lin P_k ; oddziaływania temperatury T_k (dla umownej temperatury montażu 8°C): minimalną -32°C i maksymalną +38°C, a dla elementów niezacienionych +56°C. Ponadto uwzględniono oddziaływania śniegu S_k , o wartości obciążenia na gruncie $s_k = 0,90 \text{ kN/m}^2$ i współczynnikach kształtu dachu: $\mu = 0,8$ dla pokrywy śnieżnej równomiernej na całym zadaszaniu oraz $\mu = 0,8/0,4$ dla pokrywy nierównomiernej.

Oddziaływanie wiatru W_k charakteryzowało bazowe ciśnienie prędkości wiatru o wartości $q_b = 0,250 \text{ kPa}$, współczynnik ekspozycji $C_e = 3,3$ oraz współczynniki oporu aerodynamicznego o zmiennej wartości: $c_f = 2,0$ (pierścienie), $c_f = 2,4$ (słupy), $c_f = 1,2$ (liny).

Z przytoczonych wyżej specyfikacji wynika, że ciśnienie prędkości wiatru przyjęto wg wycofanej z katalogu Kolskiego Komitetu Normalizacyjnego w roku 2010 normy krajowej (PN-77/B-02011). Według znowelizowanej mapy klimatycznej zamieszczonej w załączniku krajowym do normy PN-EN 1991-1-4/NA [5] należy przyjąć dla strefy klimatycznej 1. Wartość bazową ciśnienia prędkości wiatru $q_b = 0,30 \text{ kN/m}^2$.

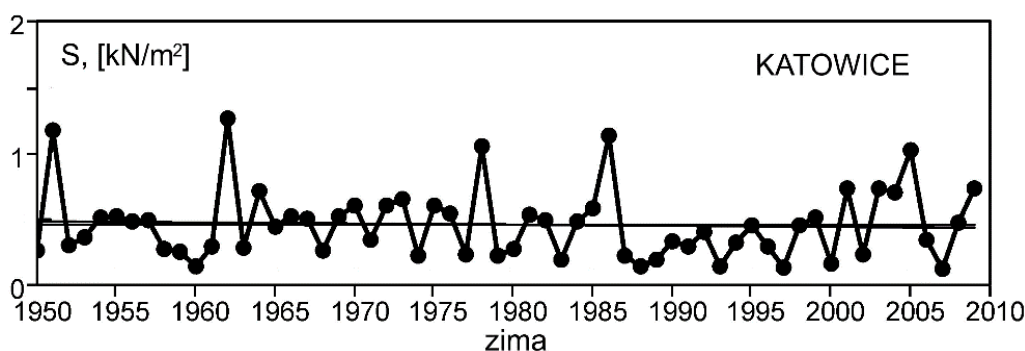
Zestawione w tabeli 1 wartości współczynników obciążenia $\gamma_{Fsup} > 1,0$ odpowiadają specyfikacji wg tabeli A.1.2(B) z normy PN-EN 1990, rekomendowanej do sprawdzenia warunków nośności elementów konstrukcji spełniających wymagania niezawodności klasy RC2. Współczynniki obciążenia o wartości $\gamma_{Ginf} = 0,9$ są zgodne ze specyfikacją niemiecką DIN – jednak dla zestawu współczynników B wg PN-EN 1990 należało przyjąć $\gamma_{Ginf} = 1,00$.

Zestawione dla obciążeń technologicznych TGA w kolumnie drugiej z tabeli 1, wartości współczynników obciążenia $\gamma_{Qsup} = 1,2 \cdot 1,35 = 1,62$ uwzględniają współczynnik konwersji $\eta_{TGA} = 1,2$ ujmujący niepewność oszacowania tych obciążeń. Lepsze uzasadnienie merytoryczne wynika z powiększenia obciążenia charakterystycznego do wartości $1,2 Q_k$ oraz $\gamma_{Qsup} = 1,35$, chociaż obliczeniowo otrzymujemy taki sam wynik końcowy.

Rezultatem przyjętych specyfikacji z wycofanych norm krajowych oraz wartości współczynników obciążenia wg normy DIN 1055-100:2001 są obniżone wymagania niezawodności sformułowane w projekcie budowlanym [6] względem wymagań stawianych w normie PN-EN 1990 dla konstrukcji zaliczanych do klasy konsekwencji zniszczenia CC3.

2. Oddziaływania klimatyczne na zadaszenie trybun Stadionu Śląskiego

Oddziaływanie klimatyczne, zwłaszcza obciążenie śniegiem przyjęte w projekcie budowlanym [6] jest formalnie poprawne, budzi jednak zastrzeżenia w aspekcie wymagań eksploatacyjnych Stadionu Śląskiego. Obciążenie śniegiem jest praktycznie jedynym obciążeniem klimatycznym kontrolowanym przez użytkownika stadionu.



Rys. 2. Wartości maksymalne rocznych ciężarów pokrywy śnieżnej na gruncie wg [7].

Przyjęty wg normy [4] poziom obciążeń charakterystycznych o wartości $s_k = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72 \text{ kN/m}^2$ oznacza, że w przypadku zalegania pokrywy śnieżnej o ciężarze jak wyżej konieczne będzie niezwłoczne usuwanie śniegu z dachu. Ewentualne zainstalowanie urządzeń monitorujących obciążenie śniegiem prowadzi do ustawienia obciążeń alarmowych na dużo niższym poziomie niż wartość charakterystyczna, ponieważ usunięcie zalegającej pokrywy śniegu wymaga odpowiedniego czasu. Dla podniesienia komfortu użytkowego Stadionu Śląskiego, poziom obciążeń charakterystycznych przyjęty w projekcie budowlanym można oprzeć na wieloletniej prognozie obciążenia śniegiem gruntu, na najbliższej stacji meteorologicznej zlokalizowanej w pobliżu Chorzowa. W tabeli 2 zestawiono wartości maksymalne roczne (zimowe) obciążenia śniegiem gruntu na stacji meteorologicznej Katowice Muchowiec

zarejestrowane w latach 1950/51-2009/2010 wg badań [7], a na rys. 2 przedstawiono powyższe dane statystyczne w formie graficznej.

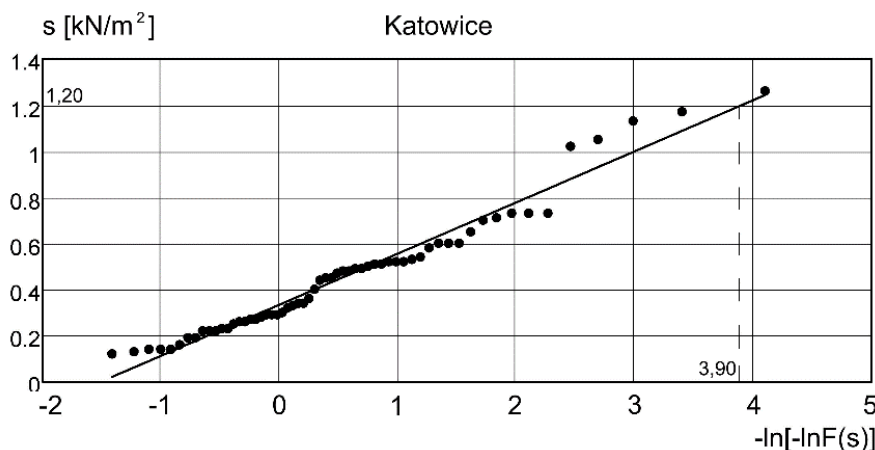
Tabela 2. Wartości maksymalne roczne (zimowe) obciążenia śniegiem gruntu na stacji meteorologicznej IMGW Katowice Muchowiec

Rok meteorologiczny	S_k [kN/m ²]	Rok meteorologiczny	S_k [kN/m ²]	Rok meteorologiczny	S_k [kN/m ²]
1950/51	0,26	1970/71	0,60	1990/91	0,33
1951/52	1,17	1971/72	0,34	1991/92	0,29
1952/53	0,30	1972/73	0,60	1992/93	0,40
1953/54	0,36	1973/74	0,65	1993/94	0,14
1954/55	0,51	1974/75	0,22	1994/95	0,32
1955/56	0,52	1975/76	0,60	1995/96	0,45
1956/57	0,48	1976/77	0,54	1996/97	0,29
1957/58	0,49	1977/78	0,23	1997/98	0,13
1958/59	0,27	1978/79	1,05	1998/99	0,45
1959/60	0,25	1979/80	0,22	1999/00	0,51
1960/61	0,14	1980/81	0,27	2000/01	0,16
1961/62	0,29	1981/82	0,53	2001/02	0,73
1962/63	1,33	1982/83	0,49	2002/03	0,23
1963/64	0,28	1983/84	0,19	2003/04	0,73
1964/65	0,71	1984/85	0,48	2004/05	0,70
1965/66	0,44	1985/86	0,58	2005/06	1,02
1966/67	0,52	1986/87	1,13	2006/07	0,34
1967/68	0,50	1987/88	0,22	2007/08	0,12
1968/69	0,26	1988/89	0,14	2008/09	0,47
1969/70	0,52	1989/90	0,19	2009/10	0,73

Z zamieszczonych danych statystycznych zarejestrowanych w Katowicach Muchowcu wynika, że wartość charakterystyczna $s_k = 0,90$ kN/m² w okresie 60. letnim była przekroczona pięciokrotnie, czyli średnio co 12 lat. Dla obciążeń „alarmowych” ustalonych na poziomie np. $s_k = 0,50$ kN/m² liczba przekroczeń wynosi już 21, czyli średnio co 3 lata należałoby odśnieżać dach stadionu. Koszty prognozowanych wieloletnich akcji odśnieżania byłyby niewspółmierne duże w porównaniu z kosztami wynikającymi z przyjęcia wyższego poziomu obciążeń charakterystycznych.

Na rysunku 3 pokazano wykres rozkładu empirycznego opracowany dla tych samych wartości maksymalnych obciążenia śniegiem gruntu w Katowicach Muchowcu na siatce probabilistycznej rozkładu Gumbela. Prosta aproksymacyjna na rys. 3 może stanowić podstawę prognozy 50. letniej obciążenia śniegiem, a empiryczna wartość charakterystyczna zaznaczona na tym rysunku wynosi $s_k = 1,20$ kN/m².

W przypadku oddziaływań wiatru, wartości współczynników oporu aerodynamicznego c_f wyznaczone wg normy PN-EN 1991-1-4 [5] nie budzą zastrzeżeń merytorycznych. Jednak ze względu na wymaganą klasę niezawodności (RC3) i nietypowy dach, współczynniki c_f zweryfikowano (pozytywnie) w badaniach modelowych przeprowadzonych w tunelu aerodynamicznym laboratorium Wacker Ingenieure.



Rys. 3. Interpolacja liniowa rozkładu empirycznego obciążenia śniegiem gruntu w Katowicach Muchowcu wg pracy [7]

3. Karta niezawodności zadaszania widowni Stadionu Śląskiego

Zakres i forma projektu budowlanego w świetle dotychczasowych uregulowań krajowych wg których opracowano projekt budowlany zadaszania Stadionu Śląskiego [6] – traktują kwestie niezawodności obiektów budowlanych dość ogólnikowo. Wymagania niezawodności formułowane w opisie technicznym do projektu architektoniczno-budowlanego najczęściej ograniczają się do lakonicznego przywołania norm krajowych. Stwarza to autorom projektów budowlanych i wykonawczych możliwość arbitralnej interpretacji parametrów eksploatacyjnych, zwłaszcza w zakresie obciążeń klimatycznych. Dachy budynków z lekką obudową, zaprojektowane formalnie poprawnie, lecz na niskim poziomie obciążenia śniegiem, wymagają permanentnego odśnieżania, a ponoszone z tego powodu przez użytkowników wysokie koszty eksploatacji są niewspółmierne do doraźnych korzyści jakie wynikają z „oszczędności” stali użytej na konstrukcję.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 03.07.2003 r. nowelizujące szczegółowy zakres i formę projektu budowlanego nie wprowadziło zmian w obszarze zarządzania niezawodnością obiektów budowlanych względem wcześniejszych uregulowań z roku 1998 (por. Dz.U. nr 140, poz. 906). Eurokod PN-EN 1990 jest normą nowoczesną, wykorzystującą zaawansowane matematycznie rozwiązania teorii niezawodności konstrukcji. Taki charakter mają przyjęte w tej normie dwie ekwiwalentne miary niezawodności konstrukcji – prawdopodobieństwo zniszczenia P_f oraz wskaźnik niezawodności β , powiązane ze sobą zależnością:

$$P_f = \Phi(-\beta) \quad (1)$$

gdzie $\Phi(-\beta)$ – skumulowana funkcja standaryzowanego rozkładu normalnego.

W inżynierskim ujęciu niezawodności, w normie [3] wprowadzono klasy konsekwencji (*consequences class*) oznaczone symbolami CC1, CC2 i CC3 (por. tabela B1 z normy [3]). Klasy konsekwencji zostały zdefiniowane w zależności od ryzyka zagrożenia życia i zdrowia ludzkiego oraz ekonomicznych konsekwencji zniszczenia konstrukcji lub braku jej zdolności do użytkowania. Klasy konsekwencji CC1, CC2 i CC3 są stowarzyszone z odpowiednimi trzema klasami niezawodności konstrukcji (*reliability class*) RC1, RC2 i RC3, dla których w normie [3] określono poziomy niezawodności i podano minimalne zalecane wartości wskaźnika niezawodności β , przypisane stanom granicznym nośności (por. tabela 3).

Zaawansowane metody probabilistycznej analizy niezawodności konstrukcji budowlanych, wykorzystujące specyfikacje wg tabeli 3, są zalecane w zapisach normy PN-EN 1990 do kalibrowania miar niezawodności w inżynierskiej metodzie współczynników częściowych. Dla klasy niezawodności RC2, odpowiadającej klasie konsekwencji CC2, wartości współczynników częściowych zostały wykalibrowane normie [3] oraz w odpowiednich eurokodach branżowych.

Tabela 3. Minimalne wartości wskaźnika niezawodności β przypisane klasom niezawodności RC

Klasa niezawodności	Minimalne wartości β_u	
	okres odniesienia – 1 rok	okres odniesienia – 50 lat
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

W szczególności współczynniki podstawowych obciążeń stałych i zmiennych γ_F są wyspecyfikowane w Załączniku A1 normy PN-EN 1990, zaś współczynniki materiałowe γ_M , obowiązujące dla konstrukcji zadaszania trybun Stadionu Śląskiego, są podane w odpowiednich częściach eurokodu PN-EN 1993.

Adresatami wskaźników niezawodności wg tabeli 3 są konstruktorzy wymiarujący elementy nośne budynków, przy czym na obecnym etapie zaawansowania badań dopuszcza się projektowanie budynków w klasach niezawodności RC1 i RC 3 także uproszczonymi metodami inżynierskimi. Łatwym sposobem zróżnicowania wymagań niezawodności jest korekta wartości współczynników obciążenia γ_F , za pomocą współczynników korekcyjnych K_{FI} o wartościach: $K_{FI} = 0,9$ dla klasy RC1 i $K_{FI} = 1,1$ dla klasy RC3. Uwzględniając dla zadaszania trybun Stadionu Śląskiego klasę konsekwencji zniszczenia CC3 – w tabeli 4 zestawiono skorygowane wartości współczynników obciążenia. W tabeli 5 zamieszczono opracowaną przykładową kartę niezawodności zadaszania stadionu, proponowaną jako integralną część projektu budowlanego zamiennego.

Tabela 4. Wartości współczynników obciążenia postulowane do projektu budowlanego zamiennego

G_k	Q_k	P_k	T_k		S_k				W_k					
1,35	1,62	1,00												
0,90	0,90	1,00	1,65											
1,35	1,62	1,00		1,65										
1,35	1,62	1,00			1,65									
1,35	1,62	1,00				1,65								
1,35	1,62	1,00					1,65							
1,35	1,62	1,00						1,65						
1,00	1,00	1,00							1,65			1,65		
1,00	1,00	1,00								1,65			1,65	
1,00	1,00	1,00									1,65			1,65

Tabela 5. Karta niezawodności zadaszania Stadionu Śląskiego w Chorzowie

1. Założenia projektowe postulowane w projekcie budowlanym zamiennym					
Jednostka projektowa:		PL-Projekt Planungsbüro GmbH			
Projektant:					
Klasa konsekwencji wg EN 1990	–	–	–	CC3	
Klasa niezawodności	–	–	–	RC3	
Poziom nadzoru	–	–	–	DSL3	
Kategoria projektowego okresu użytkowania					
Pokrycie dachu	3	Konstrukcja	4	–	
Projektowy okres użytkowania konstrukcji nośnej w latach					
–	–	–	50	–	
Projektowy okres użytkowania pokrycia w latach					
–	–	15–30	–	–	
Odporność pożarowa pomieszczeń					
Kategoria zagrożenia ludzi	–	ZL II	ZL III	–	–
Klasa odporności pożarowej	–	B	C	–	–
Warunki odporności ogniowej	–	R 120	R 60	–	–
Kategoria użytkowania zadaszenia: H (wg PN-EN 1991-1-1)					
Stal na liny	Liny spiralne zamknięte $f_u = 1670$ MPa				
Stal na konstrukcję nośną	S355J2G3				
2. Dokumentacja wykonawcza					
Jednostka projektowa:		Schlaich Bergemann und Partner (Stuttgart)			
Autor projektu wykonawczego:					
Wykonawca konstrukcji pierwotnej:					
Wykonawca konstrukcji wtórnej					
Klasa wykonania konstrukcji	–	–	EXC3	–	
Kategoria produkcji		Kategoria użytkowania			
PC2		SC1			
Trwałość powłok malarskich		Trwałość lin			
5–15 lat		50 lat			

4. Podsumowanie

Skutecznym sposobem wyeliminowania opisanych niedostatków w zakresie współczesnych wymagań niezawodności budynków (także zadaszania trybun Stadionu Śląskiego) jest nowelizacja zakresu projektu budowlanego, uwzględniająca reguły zarządzania niezawodnością wg eurokodu PN-EN 1990 [3] oraz europejskich norm wykonania konstrukcji stalowych. W znowelizowanych przepisach można i należy projektantom zalecić opracowanie karty niezawodności obiektu budowlanego.

Literatura

1. DIN 1055-100:2001-03. Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.
2. Dokumentacja projektowa Biura Schlaich Bergemann und Partner (sbp GmbH), 2009.
3. PN-EN 1990:2004: Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji. PKN Warszawa 2004.
4. PN-EN 1991-1-3: Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1–3: Oddziaływania ogólne – Obciążenie śniegiem. PKN Warszawa 2005.
5. PN-EN 1991-1-4: Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1–4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru. PKN Warszawa 2008.

6. Projekt budowlany konstrukcji zadaszenia widowni oraz niezbędna infrastruktura techniczna Stadionu Śląskiego w Chorzowie, część A: zadaszenie. Generalny Projektant: PL-PROJEKT Planungsbüro GnbH Werschweilerweg 26 D-66564 OTTWEILER.
7. Żurański J.A., Sobolewski A. Obciążenie śniegiem w Polsce. Wydawnictwa Instytutu Techniki Budowlanej. Warszawa 2009.

SPECIFICATION OF RELIABILITY ELEMENTS FOR THE ROOF SUPPORT STRUCTURE OF SILESIAN STADIUM IN CHORZÓW

Abstract: The abstract should summarise the contents of the paper in about 10 lines of text. Design of building structures according to the current generation of Eurocodes is based upon the formation of dimensioning on load and bearing capacity coefficient method. This is a variant of limit state method, different from the similar formation introduced into Polish national building codes in the seventies of XX century. Substantive and formal basics of this method are formulated in Eurocode PN-EN 1990 and European structural manufacturing standards. In this paper specification of reliability elements for the roof support structure of Silesian Stadium in Chorzów were analyzed, taking into account principles of reliability differentiation according to Eurocode 1990. Specification results were presented as building reliability card. It was also proposed for consequence class CC3 building structures, that normalized forecast of climate load should be replaced by long-term statistical data, recorded at the meteorological stations.

Keywords: roof of stadia, conditions of reliability, partial coefficients, reliability classes, manufacturing classes.