

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

E U R O K O D

WPROWADZENIE

ANTONI BIEGUS

tel. 071 372 77 79, 071 32037 66, 0664 531 931

antoni.biegus@pwr.wroc.pl

Przystępując do Unii Europejskiej, Polska zobowiązała się do wprowadzenia europejskich norm - Eurokodów. Są to wspólne, ujednolicone dokumenty odniesienia, które stanowią **kluczowe ogniwo ładu budowlanego** w państwach Unii Europejskiej.

Eurokody są zbiorem zuinifikowanych norm międzynarodowych służących do projektowania budynków oraz konstrukcji inżynierskich. Intencją ich autorów było wykorzystanie szerokiego doświadczenia w zakresie projektowania oraz wyników badań w blisko 20 krajów członkowski UE.

Na podstawie art. 95 Traktatu Rzymskiego z 1975 r. **Komisja Wspólnot Europejskich** podjęła działania mające na celu eliminację przeszkód technicznych w handlu i harmonizacji ustaleń technicznych. Polegały one na ustaleniu zbioru zharmonizowanych reguł technicznych projektowania budowli, zastępujących zróżnicowane reguły stosowane w poszczególnych krajach członkowskich.

W 1989 r. podpisano umowę między **Komisją** i krajami członkowskimi UE, na mocy której Eurokody zyskały status dokument odniesienia, uznawanych przez władze w krajach członkowskich.

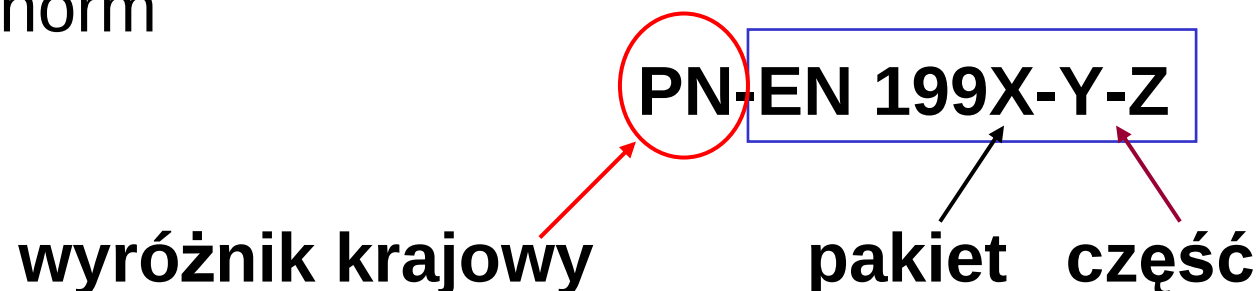
CEN - EUROPEJSKI KOMITET NORMALIZACJI

PKN - POLSKI KOMITET NORMALIZACJI

- Ustawa o normalizacji z dnia 12 września 2002 r.
- Członkostwo w **CEN** od 1 stycznia 2004 r.

Nadchodzi czas Eurokodów – europejskich norm projektowania konstrukcji budowlanych

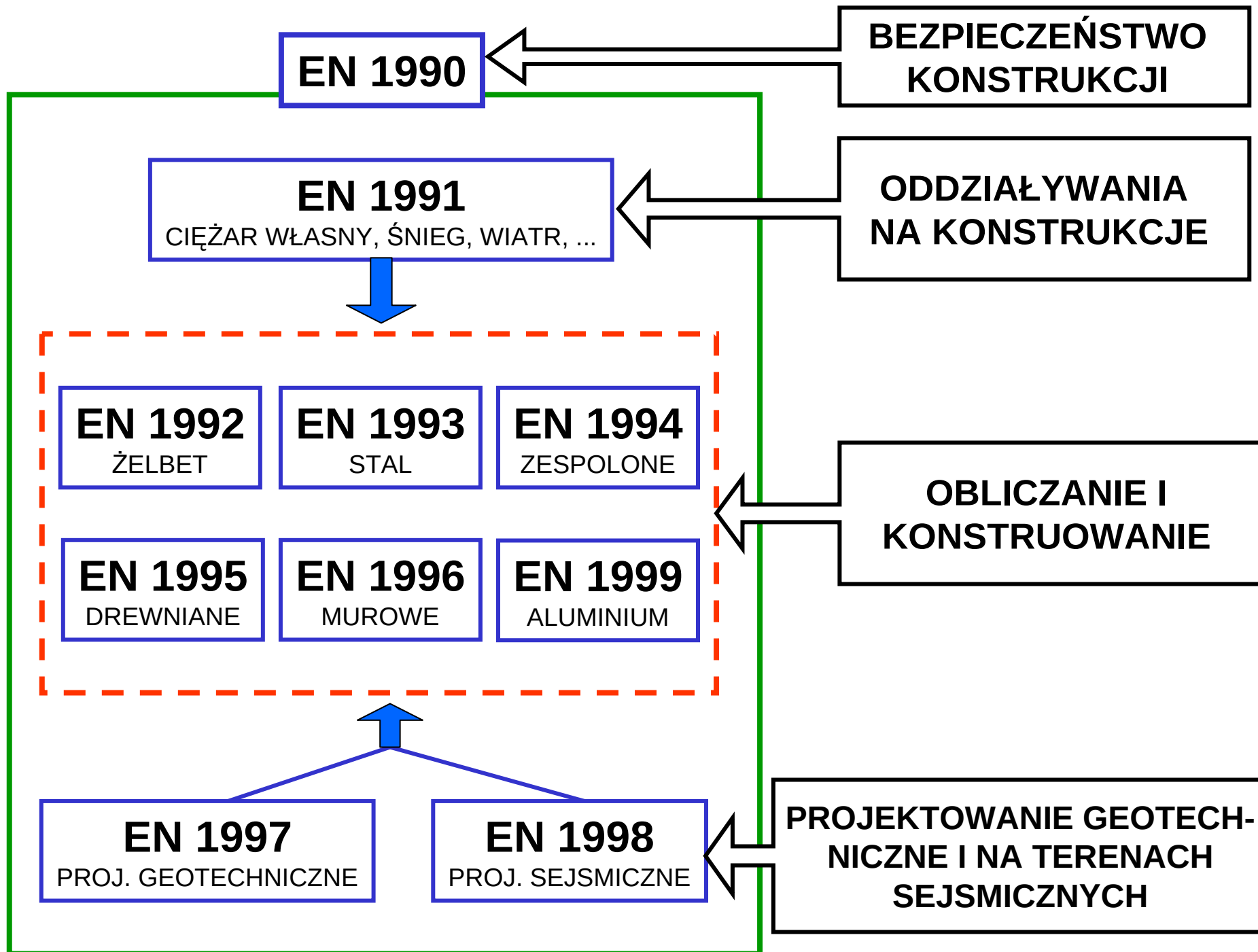
EUROKODY - europejskie normy projektowania konstrukcji budowlanych **EN 1990 ÷ EN 1999** – to **10** pakietów (zbirów) norm



Program 10 Eurokodów (57 części EN 199X-Y-Z)

EN 199X-Y-Z ← części

EN 1990	Podstawy projektowania konstrukcji
EN 1991	Oddziaływania na konstrukcje
EN 1992	Projektowanie konstrukcji z betonu
EN 1993	Projektowanie konstrukcji stalowych
EN 1994	Projektowanie konstrukcji zespolonych...
EN 1995	Projektowanie konstrukcji drewnianych
EN 1996	Projektowanie konstrukcji murowych
EN 1997	Projektowanie geotechniczne
EN 1998	Projektowanie sejsmiczne
EN 1999	Projektowanie konstrukcji aluminiowych



EN 1991-Y-Z Oddziaływania na konstrukcje

- PN-EN 1991-1-1:2004** Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach – opublik.
- PN-EN 1991-1-2:2006** Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru – opublikowana
- PN-EN 1991-1-3:2005** Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenia śniegiem – opublikowana
- PN-EN 1991-1-4:2008** Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Obciążenia wiatrem – opublikowana

PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania termiczne – opublikowana

PN-EN 1991-1-6:2007 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-6: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji – opublikowana

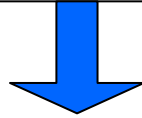
PN-EN 1991-1-7:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-7: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania wyjątkowe – opublikowana

PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów – opublikowana

pr-EN 1991-3:2009 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 3: Oddziaływania wywołane przez pracę dźwigów i maszyn

pr-EN 1991-4:2009 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 4: Silosy i zbiorniki

Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych



EN 1993-1* : Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków

EN 1993-2 : Mosty stalowe

EN 1993-3* : Wieże, maszty i kominy

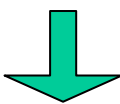
EN 1993-4* : Silosy, zbiorniki i rurociągi

EN 1993-5 : Palowanie i grodze

EN 1993-6 : Konstrukcje wsporcze suwnic

*** Normy wieloczęściowe**

Wprowadzanie Eurokodów do Polskich Norm


PN-EN 199X

EN 199X

Przedmowa

Eurokod

Tłumaczenie

(wersja oficjalna: E, F lub D)

Załącznik krajowy

(wersja polska)

ZAWARTOŚĆ EUROKODU DO STOSOWANIA W KRAJACH CZŁONKOWSKICH UE

- Normy krajowe wdrażające eurokody muszą zawierać pełny tekst eurokodów i załączników w postaci opublikowanej przez CEN.
- Mogą one być poprzedzone krajową stroną tytułową i krajowym wstępem.
- Mogą być uzupełnione *Załącznikiem Krajowym* zawierającym wszystkie specyficzne zmiany wartości liczbowych w postaci parametrów ustalonych przez władze krajowe.

WARTOŚCI PARAMETRÓW USTALANYCH PRZEZ KRAJOWE ORGANIZACJE NORMALIZACYJNE

- Parametry, których wartości mogą być ustalone przez krajowe organizacje normalizacyjne określone są w każdej części eurokodu.
- Zwykle mogą one dotyczyć wartości charakterystycznych różnic w warunkach klimatycznych (np.obciążenia śniegiem, wiatrem), wyboru poziomu bezpieczeństwa z uwagi na trwałość konstrukcji oraz ogólnie klas (materiałów i konstrukcji), lub metod (obliczeń).

Są one pozostawione w poszczególnych częściach eurokodu do wyboru przez krajowe organizacje normalizacyjne

ZAŁĄCZNIKI KRAJOWE EUROKODÓW zawierają:

- parametry ustalone przez krajowe władze normaliz., których wartości liczbowe są różne niż w wersji opublikowanej przez CEN
- decyzje dotyczące zastosowania załączników informacyjnych podanych w poszczególnych eurokodach.

Załączniki Krajowe nie mogą zmieniać lub modyfikować treści poszczególnych Eurokodów z wyjątkiem wyraźnie wskazanych sytuacji, kiedy możliwy jest „wybór” parametrów ustalonych przez krajowe organizacje normalizacyjne.

Np. w EN1990 wszystkie częściowe współczynniki bezpieczeństwa podano w postaci symboli, których zalecane wartości podano w „uwagach”.

W takim przypadku w *Załączniku Krajowym* można:

- albo przyjąć zalecane wartości w eurokodzie (wersji oficjalnej),
- albo podać wartości alternatywne na podstawie krajowych doświadczeń i tradycji projektowania.

Na uwagę zasługuje fakt , że za bezpieczeństwo odpowiedzialne są krajowe władze normalizacyjne.

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

**PODSTAWY PROJEKTOWANIA
KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH
WEDŁUG PN-EN 1990:2004**

ANTONI BIEGUS

tel. 071 372 77 79, 071 32037 66, 0664 531 931

antoni.biegus@pwr.wroc.pl

W normie **PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji** – podano zasady i wymagania dotyczące zapewniania bezpieczeństwa, użytkowości i trwałości konstrukcji.

Przyjęto w niej koncepcje stanów granicznych, posługująca się metodą częściowych współczynników.

W projektowaniu nowych konstrukcji przewiduje się bezpośrednie stosowanie **EN 1990** łącznie z eurokodami **EN 1991÷EN 1999**.

- EN 1990 jest przeznaczona do stosowania przez – komitety opracowujące nowe normy projektowania i związane normy wyrobów, badań i wykonania,
- Inwestorów, projektantów, wykonawców i właściwe władze.
- EN 1990 jest dokumentem wiodącym przy projektowaniu konstrukcji w celu:
 - oceny oddziaływań i ich kombinacji,
 - modelowania modelu materiału i zachowania się konstrukcji,
 - oceny wartości liczbowych parametrów niezawodności.

Kryteria jakości konstrukcji

- Funkcjonalność
- Efektywność
- **Niezawodność**

Niezawodność konstrukcji – zdolność do bezawaryjnego funkcjonowania w przewidzianym, tzw. projektowanym okresie użytkowania – jest zasadniczym kryterium jakości i głównym (normatywnym) postulatem formułowanym w odniesieniu do konstrukcji.

Projektowy okres użytkowania – przyjęty w projekcie przedział czasu, w którym konstrukcja ma być użytkowana zgodnie z zamierzonym przeznaczeniem i przewidzianym utrzymaniem, bez potrzeby napraw.

Projektowy okres użytkowania

Kategoria projekt. okresu użytk.	Orientacyjny projektowy okres użytkowania [lata]	Przykłady
1	10	Konstrukcje tymczasowe
2	od 10 do 25	Wymienialne części konstrukcji np. belki podsuwnicowe, łożyska
3	od 15 do 30	Konstrukcje rolnicze i podobne
4	50	Konstrukcje budynków i inne konstrukcje zwykłe
5	100	Konstrukcje budynków monumentalnych, mosty i inne konstrukcje inżynierskie

Konstrukcje lub ich części, które mogą być demontowane w celu ponownego zamontowania, nie należy uważać za konstrukcje tymczasowe

Wymagania podstawowe

Konstrukcję budowli należy zaprojektować oraz wykonać w taki sposób, aby w zamierzonym okresie użytkowania, z należyтым poziomem niezawodności i bez nadmiernych kosztów eksploatacji:

- przejmowała wszystkie oddziaływania i wpływy, których pojawienia się można oczekiwać podczas jej wykonania oraz użytkowania,
- pozostała przydatna do przywidzianego w projekcie użytkownika.

(np. „odśnieżanie” - ?, energooszczędność itp.)

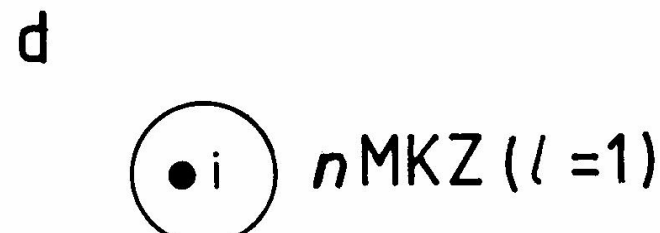
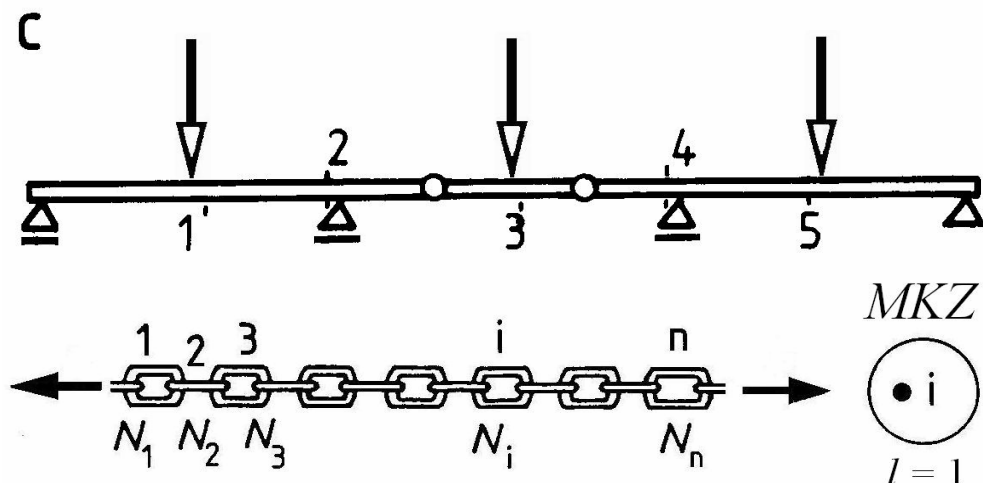
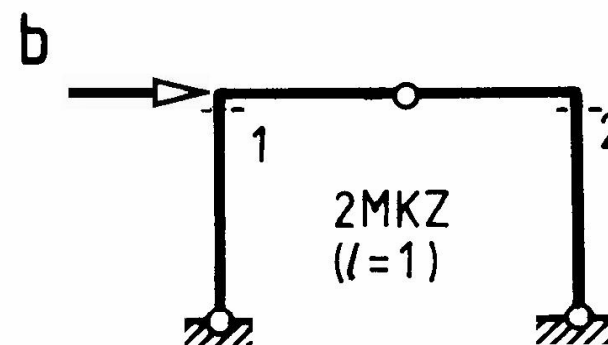
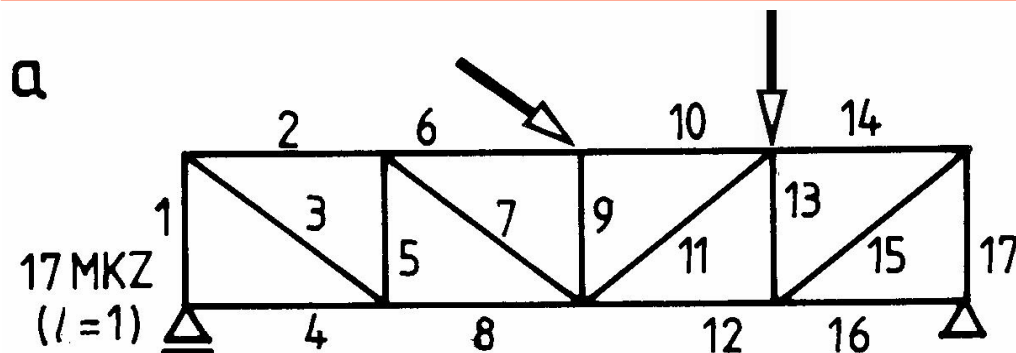
Aby potencjalne zniszczenie projektowanej konstrukcji było ograniczone należy:

1. Ograniczyć, eliminować lub redukować zagrożenia, na które może być narażona,
2. Wybrać ustrój nośny, który jest mało wrażliwy na rozpatrywane zagrożenie,
3. Przyjąć takie jego rozwiązania by przetrwał mimo awaryjnego uszkodzenia pojedynczego elementu lub pewnej części konstrukcji,
4. Unikać, tak dalece jak to możliwe ustrojów konstrukcyjnych, które mogą ulec zniszczeniu bez uprzedniego uprzedzenia,
5. Wzajemnie powiązać (stężyć) elementy konstrukcji.

WYMAGANIA: - wybrać ustrój konstrukcyjny, który jest mało wrażliwy na rozpatrywane zagrożenie i takie jego rozwiązania by przetrwał mimo awaryjnego uszkodzenia pojedynczego elementu.

W ocenie bezpieczeństwa całej konstrukcji należy ustalić jego globalny **model niezawodnościowy**.

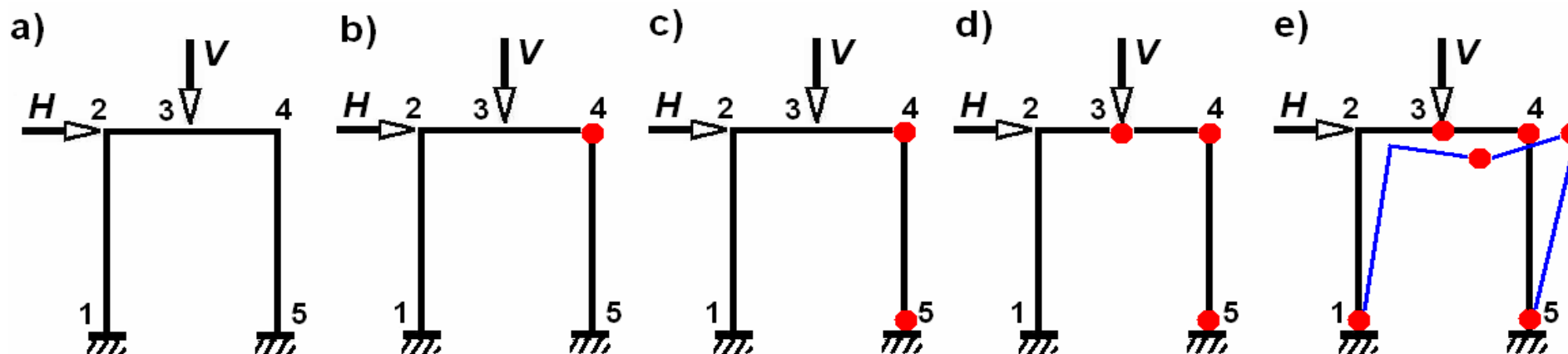
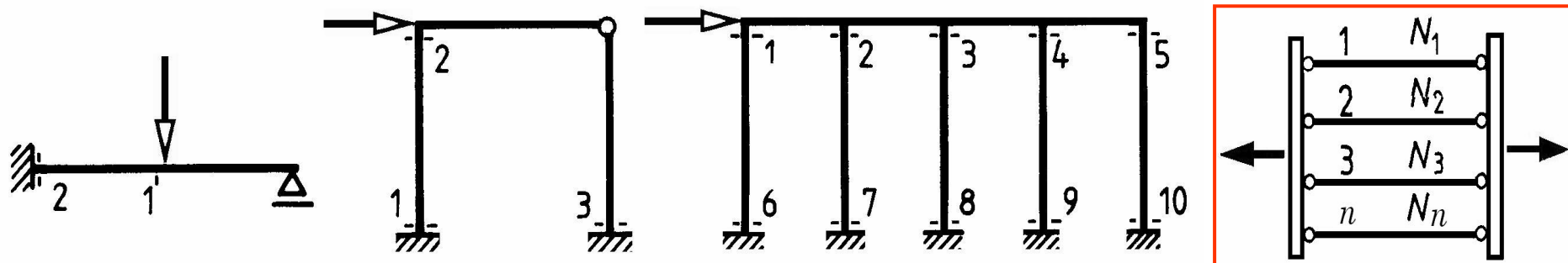
SZEREGOWY MODEL NIEZAWODNOŚCIOWY



SZEREGOWY

$$N = \min (N_i) \quad R = \prod p_i$$

RÓWNOLEGŁY MODEL NIEZAWODNOŚCIOWY



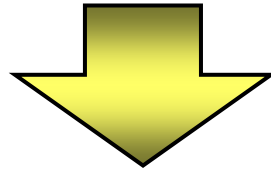
RÓWNOLEGŁY $N = \sum a_i N_i$

MODELOWANIE KONSTRUKCJI

W obliczeniach należy przyjmować odpowiednie założenia i modele obliczeniowe, odzwierciedlające zachowanie się konstrukcji, w tym:

- właściwości przekrojów poprzecznych,
- węzłów i łożysk podporowych.

PODSTAWOWA ZASADA IDENTYFIKACJI



Niezawodność konstrukcji - kryteria normowe

- **Nośność** (także odporność ogniowa)
 - **Użytkowość** (odpowiednia sztywność)
 - **Trwałość** (kontrolowana deterioracja* - właściwe utrzymanie konstrukcji w okresie użytkowania)
 - **Integralność strukturalna** - nieuleganie nadmiernym zniszczeniom w wypadku zdarzeń wyjątkowych (np. wybuch, uderzenie) tj. nie uleganie zniszczeniom, których konsekwencje – szkody – byłyby niewspółmierne do początkowej przyczyny.
- * **deterioracja** – pogorszenie się stanu konstrukcji (właściwości) w okresie użytkowania

Główne przesłanki zapewnienie niezawodności konstrukcji wg PN-EN 1990

- Projektowanie – zgodne z Eurokodami
- Wykonanie – zgodne z właściwymi normami przywołanymi w Eurokodach
- Zarządzanie – zorientowane na jakość^{*/} – stosowanie odpowiednich procedur nadzoru i kontroli w całym procesie budowlanym



Zarządzanie niezawodnością konstrukcji

Różne poziomy niezawodności można przyjmować m.in.: dla nośności konstrukcji, i dla użytkowości konstrukcji.

W wyborze **poziomu niezawodności** konstrukcji, uwzględniania się:

- możliwe przyczyny i/lub postacie stanów granicznych,
- możliwe konsekwencje zniszczenia takie jak zagrożenie życia, szkody, zranienia, straty materialne,
- reakcje społeczne na zaistniałe zniszczenia,
- koszty i procedury oraz postępowanie niezbędne z uwagi na ograniczenia ryzyka zniszczenia.

Można przy tym stosować zróżnicowane poziomy niezawodności w postaci **3. klas niezawodność (RC X)**,
którym odpowiadają **3. klasy konsekwencji (CC X)**.

Dla ustalonych klas dobiera się:

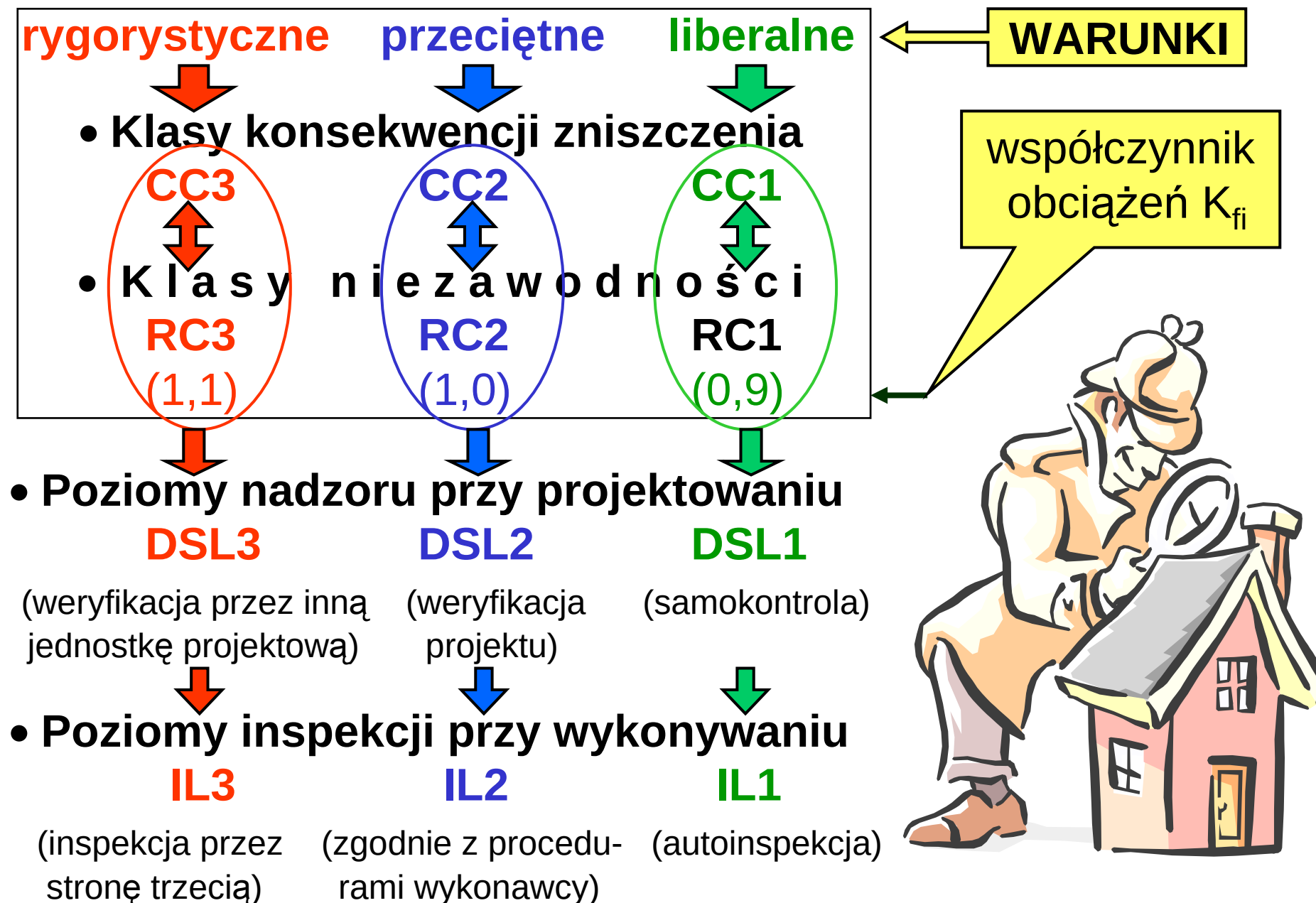
poziom nadzoru projektowania (DSL Y) i
poziom inspekcji wykonawstwa (IL Y).

Zaleca się przy tym, aby **poziom** wymagań był nie niższy niż klasa niezawodności i konsekwencji ($Y \geq X$) gdzie $Y, X = 1, 2, 3$.

Dla zwykłych, powszechnie stosowanych konstrukcji budowlanych przyjmuje się zwykle warunki przeciętne ($Y = X = 2$).

Klasy niezawodności konstrukcji i związane z nią wymagania dotyczące zapewnienia jakości w procesach projektowania i realizacji powinny być zawczasu uzgodnione i sprecyzowane w specyfikacji projektu.

Różnicowanie niezawodności – uwarunkowania



DEFINICJA KLAS KONSEKWENCJI ZNISZCZENIA

Klasa konsek- wencji	Opis	Przykłady konstrukcji budowlanych i inżynierskich
CC3	Wysokie zagrożenie życia ludzkiego lub bardzo duże konsekwencje ekonomiczne, społeczne i środowiskowe	Widownie, budynki użytecz- ności publicznej, których konsekwencje zniszczenia są wysokie
CC2	Przeciętne zagrożenie życia ludzkiego lub znaczne konsek-wencje ekonomiczne, społecz-ne i środowiskowe	Budynki: użyteczności publi- cznej, mieszkalne, biurowe, których konsekwencje znisz- czenia są przeciętne
CC1	Niskie zagrożenie życia ludz- kiego małe lub nieznaczne konsekwencje ekonomiczne, społeczne i środowiskowe.	Budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przeby- wają, szklarnie

RÓŻNICOWANIE NADZORU W TRAKCIE PROJEKTOWANIA

Poziomy nadzoru przy projektowaniu	Charakterystyka nadzoru	Minimalne wymagania przy sprawdzaniu obliczeń, rysunków i specyfikacji
DSL 3 odniesiony do RC3	zaostrzony	Sprawdzenie przez stronę trzecią: przez inną jednostkę projektową*
DSL 2 odniesiony do RC2	normalny	Sprawdzenie zgodnie z procedurami jednostki projektowej*
DSL 1 odniesiony do RC1		Autokontrola: przez autora projektu*

* Można również stosować klasyfikację projektantów i władz sprawdzających

INSPEKCJA W TRAKCIE WYKONANIA

Poziom inspekcji	Charakterystyka inspekcji	Wymagania inspekcji
IL3 odniesiony do RC3	zaostrzona	przez stronę trzecią
IL2 odniesiony do RC2	normalny	zgodnie z procedurami jednostki wykonawczej
IL1 odniesiony do RC 1		autoinspekcja

WNIOSEK. Należy pilnie wprowadzić przepisy dotyczące:

- 1. Wprowadzenia klasyfikacji niezawodności budowli w zależności od konsekwencjach ich zniszczenia.**
- 2. Weryfikacji projektów („zewnętrznej” – niezależnej od projektanta, wykonawcy, inwestora).**

PODSTAWY OBLICZEŃ STANÓW GRANICZNYCH

Kanwę metodologiczną sprawdzanie niezawodności konstrukcji budowlanych wg Eurokodu EN 1990 stanowi znana już i powszechnie stosowana metoda **stanów granicznych i współczynników częściowych**.

Metoda ta, skodyfikowana w normie **PN-ISO 2394:2000** *Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych*, została w Eurokodach aplikacyjnie rozwinięta.

Stany graniczne to stany, po przekroczeniu których konstrukcja nie spełnia jej kryteriów projektowych.

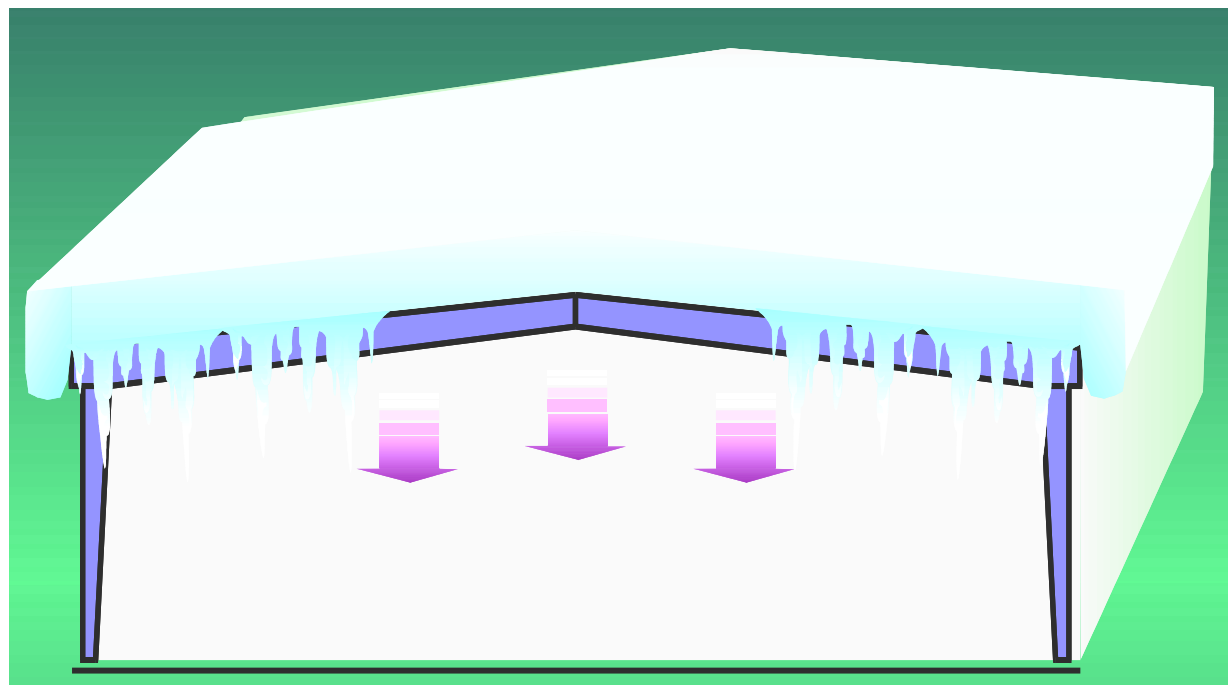
Rozróżnia się **stany graniczne**:

- **nośności** (związane z katastrofą lub zniszczeniem) i
- **użytkowości** (po przekroczeniu których konstrukcja przestaje spełniać stawiane jej wymagania użytkowe).

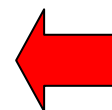
W celu analizy prognozowanego wyężenia konstrukcji (w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych), w kontekście oddziaływań oraz ich **kombinacji** analizuje się **sytuacje obliczeniowe**.

Kombinacja oddziaływań – to zbiór wartości obliczeniowych przyjętych do sprawdzenia niezawodności konstrukcji, kiedy w rozpatrywanym stanie granicznym występują jednocześnie różne oddziaływania (w badanej sytuacji obliczeniowej).

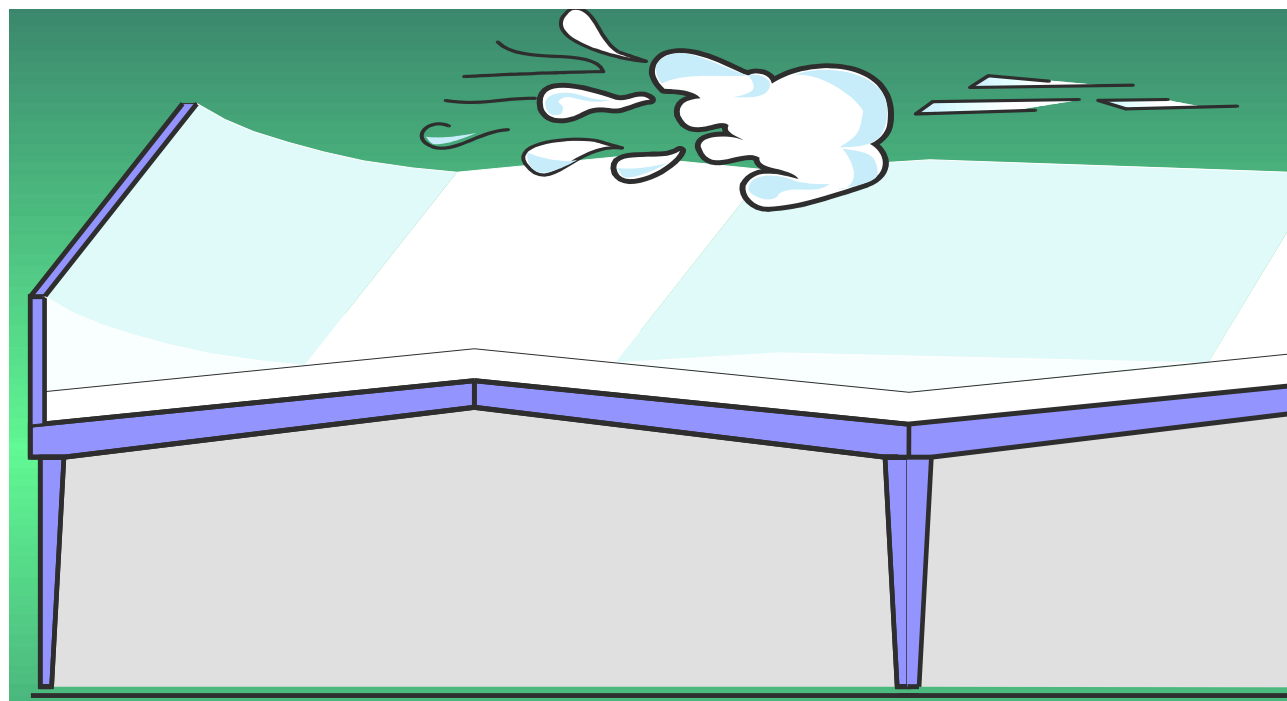
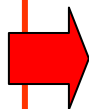
Sytuacje obliczeniowe – to zbiór warunków fizycznych, reprezentujących rzeczywiste warunki w określonym przedziale czasowym, dla którego wykazuje się w obliczeniach, że odpowiednie stany graniczne nie zostały przekroczone.

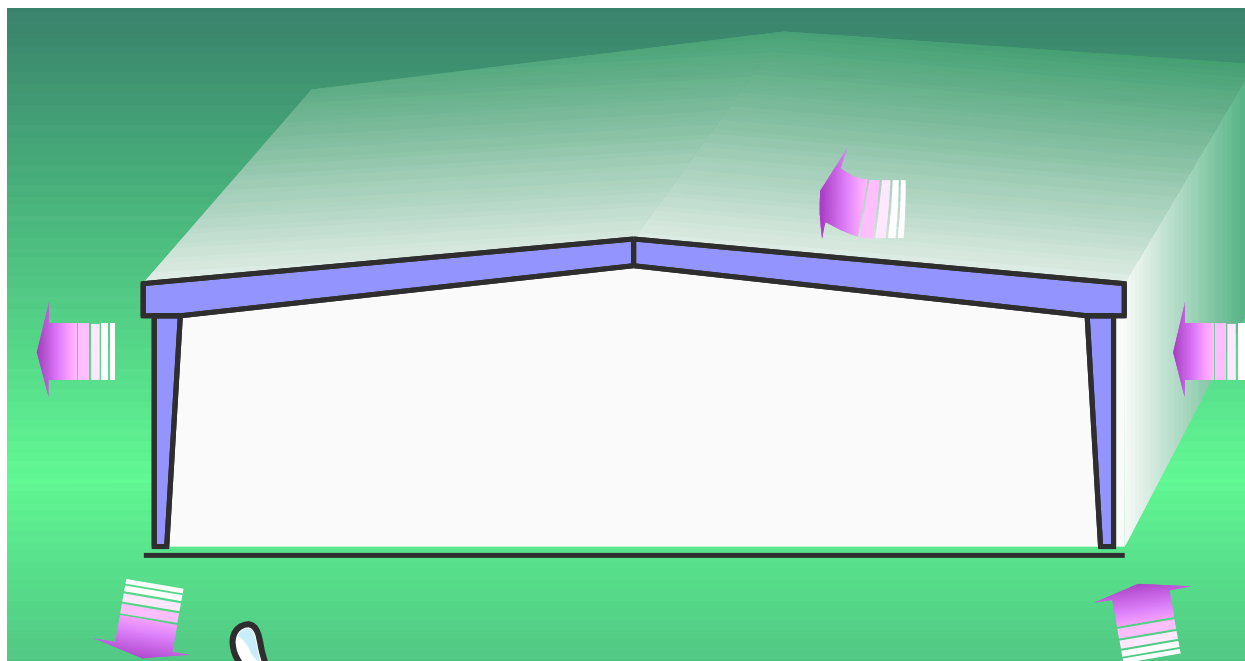


SYTUACJA
OBLICZENIOWA
TRWAŁA



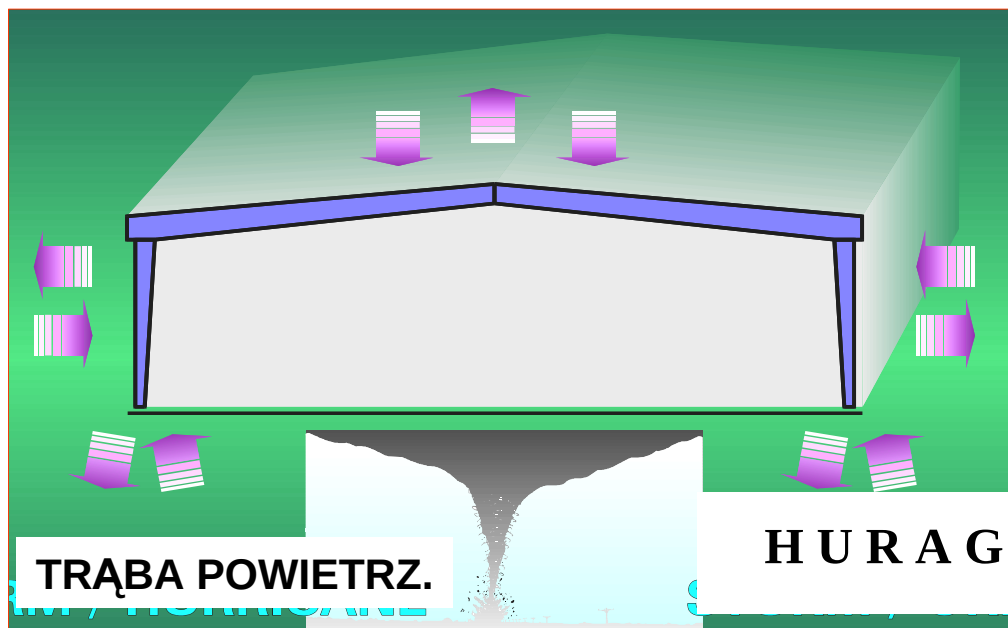
SYTUACJA
OBLICZENIOWA
WYJĄTKOWA
zamiecie śnieżne



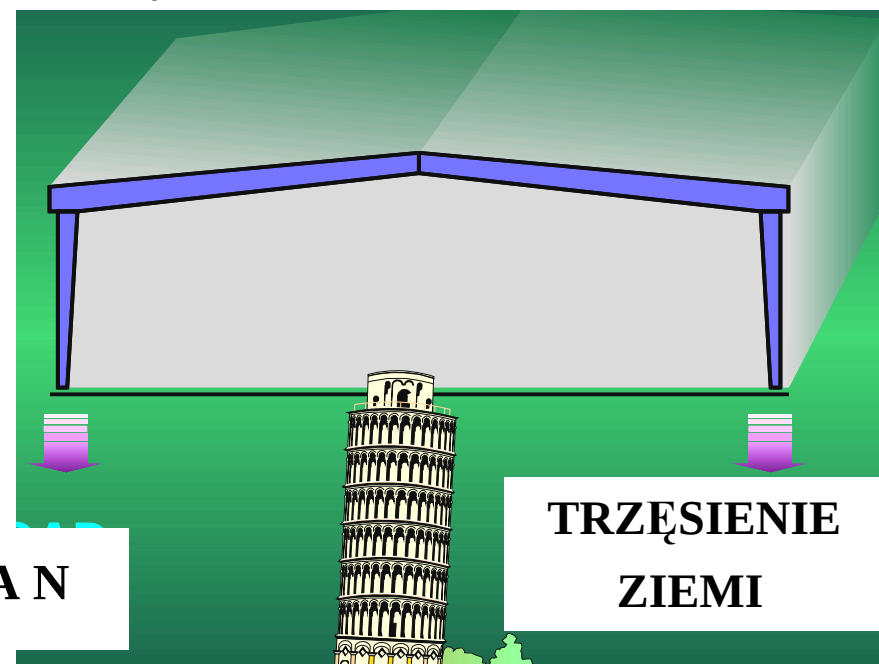


**SYTUACJA
OBLICZENIOWA
TRWAŁA**

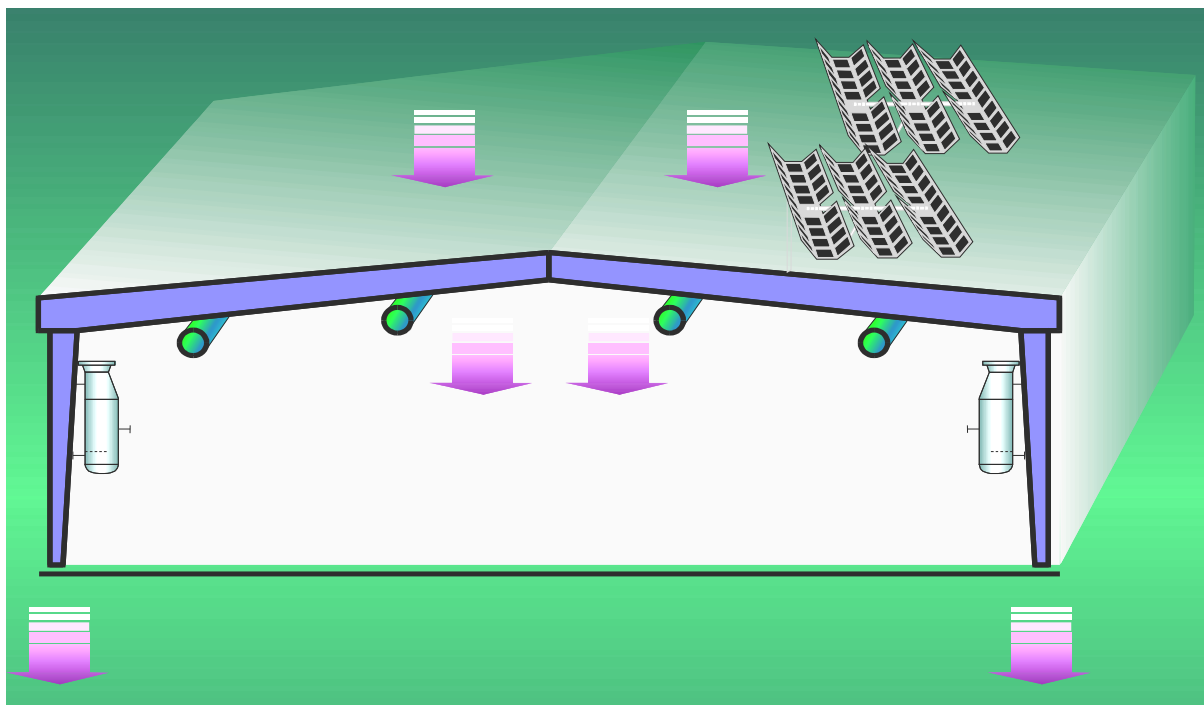
SYTUACJA OBLICZENIOWA: WYJĄTKOWA, SEJSMICZNA



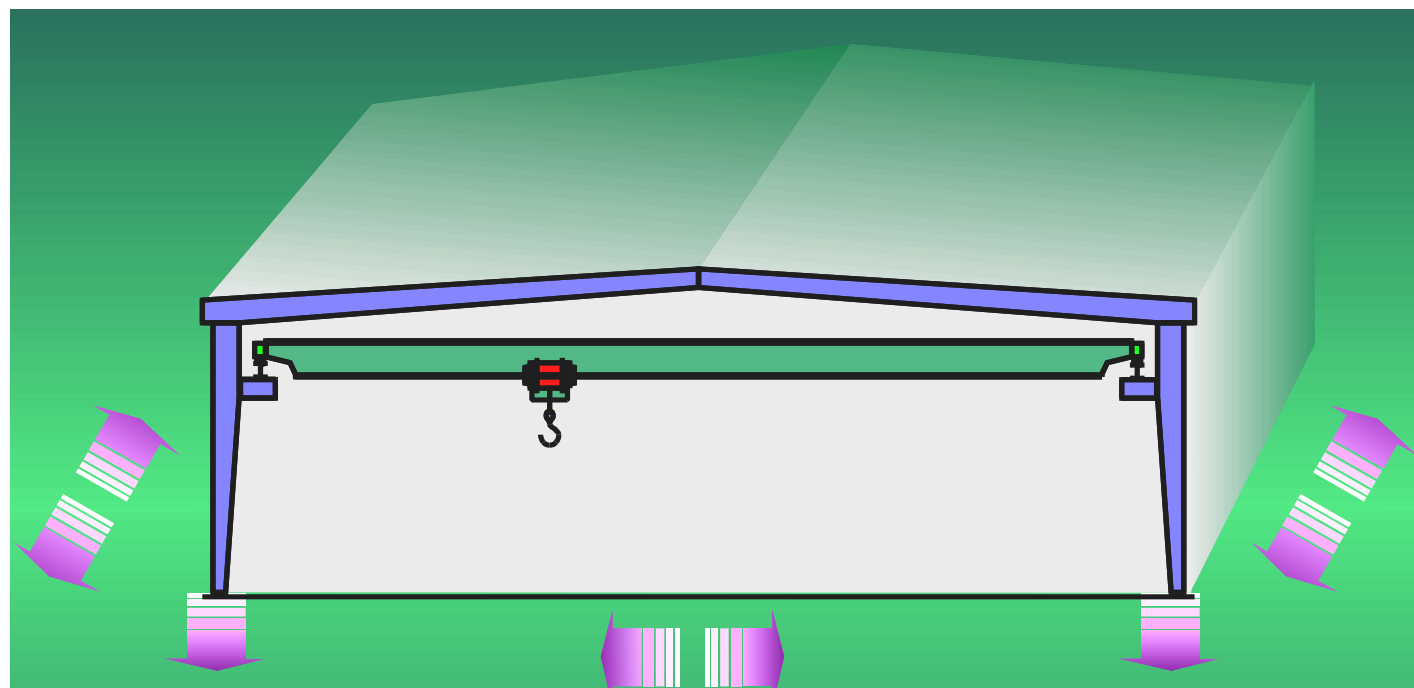
HURAGAN

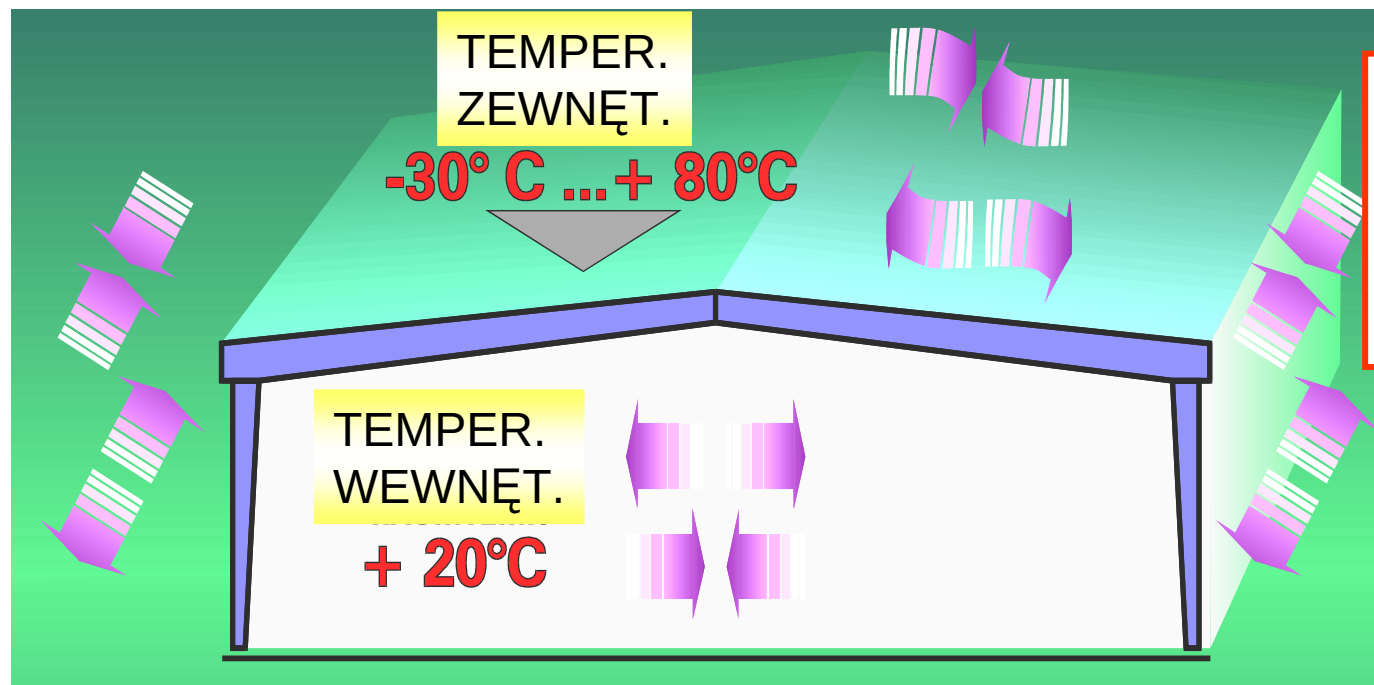


**TRZĘSIENIE
ZIEMI**



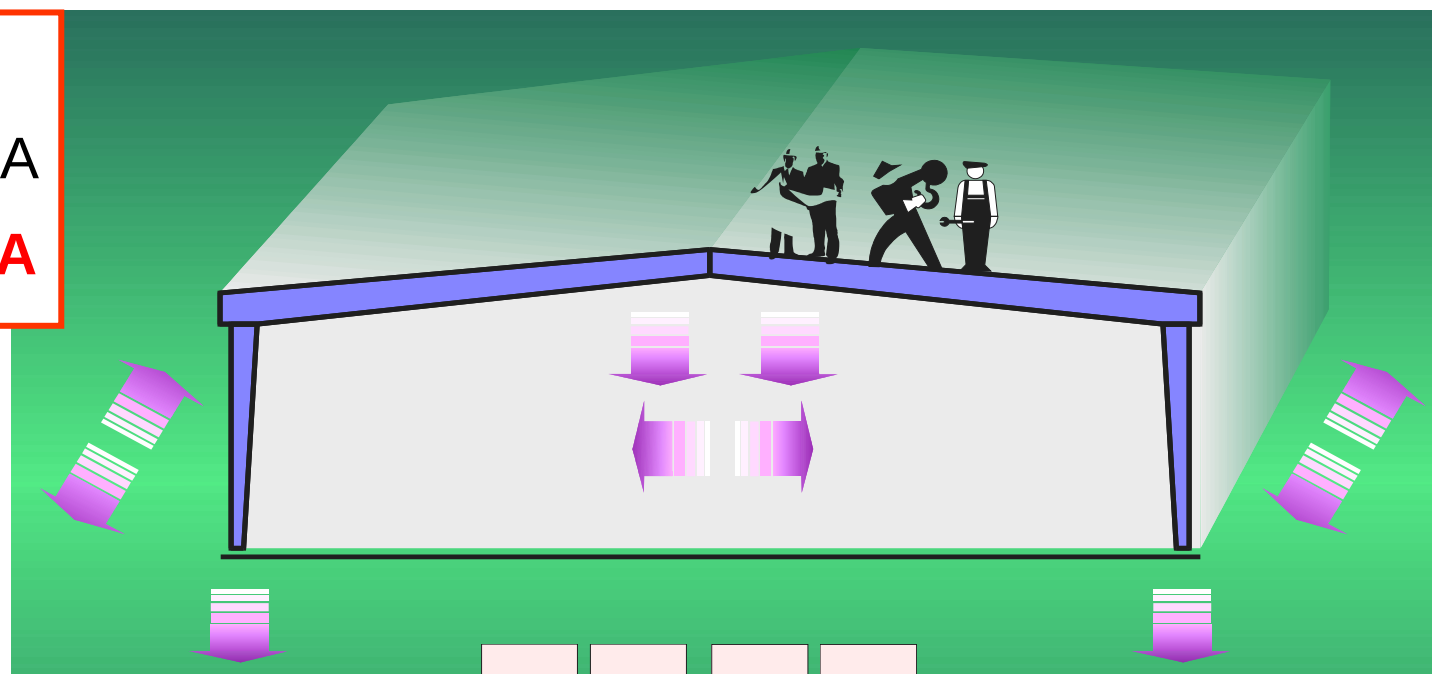
SYTUACJA
OBLICZENIOWA
TRWAŁA





**SYTUACJA
OBLICZENIOWA
TRWAŁA**

**SYTUACJA
OBLICZENIOWA
PRZEJŚCIOWA**



Sytuacje obliczeniowe (warunki) – kombinacje oddziaływań przy sprawdzaniu SGN

- **trwała** (użytkowanie obiektu zgodne z przeznaczeniem) – której miarodajny czas trwania jest tego samego rzędu co planowany okres eksploatacji ustroju,
- **przejściowa** (chwilowe warunki podczas budowy i naprawy) – o dużym prawdopodobieństwie wystąpienia, której czas trwania jest znacznie krótszy niż przewidziany okres użytkowania konstrukcji,
- **wyjątkowa** (wyjątkowe warunki: pożar, uderzenie, wybuch) – odnosząca się do wyjątkowych warunków użytkowania konstrukcji lub jej eksploatacji,
- **sejsmiczna** – uwzględniająca trzęsienie ziemi.

STANY GRANICZNE

- Stany graniczne dotyczące:

- **bezpieczeństwa* ludzi i/lub**
- **bezpieczeństwa* konstrukcji**

(- niekiedy także zawartości budowli)

należy uważać za **stany graniczne nośności** - **ULS.**

*- stany poprzedzające (w tym samą) katastrofę konstrukcji

- Stany graniczne dotyczące:

- **funkcji** konstrukcji lub jego elementu w warunkach zwykłego użytkowania,
- **komfortu** (drgania) użytkowników,
- **wyglądu** (ugięcia, rysy) obiektu budowlanego są **stanami granicznymi użytkowalności** - **SLS.**

STANY GRANICZNE NOŚNOŚCI – ULS (SGN)

Sprawdzając kryteria nośności należy rozróżnić następujące **stany graniczne nośności (ULS)** oraz formy zniszczenia:

- **ULS – EQU** - utrata równowagi konstrukcji lub jej części jako ciała sztywnego,
- **ULS – STR** - zniszczenie na skutek nadmiernego odkształcenia, przekształcenia się w mechanizm, zniszczenie materiałowe, utratę stateczności konstrukcji,
- **ULS – GEO** - zniszczenie lub nadmierne deformacje podłoża,
- **ULS – FAT** - zniszczenie zmęczeniowe.

STANY GRANICZNE NOŚNOŚCI (ULS)

Jako miarodajne należy sprawdzać następujące stany graniczne:

- **EQU** – Utrata równowagi statycznej konstrukcji lub jakiegokolwiek jej części, uważanej za ciało sztywne

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

- **STR** – Zniszczenie wewnętrzne lub nadmierne odkształcenie konstrukcji łącznie z fundamentami, w przypadku których decyduje wytrzymałość materiału

$$E_d \leq R_d$$

- **GEO** – Zniszczenie lub nadmierne odkształcenie podłoża, kiedy istotne dla nośności konstrukcji ma wytrzymałość podłoża

$$E_d \leq R_d$$

- **FAT** – Zniszczenie zmęczeniowe konstrukcji.

$E_{d,dst}$, $E_{d,stb}$, E_d , R_d - odpowiednio wartości obliczeniowe efektu oddziaływań destabilizujących, stabilizujących, efektu oddziaływań i nośności.

STANY GRANICZNE UŻYTKOWALNOŚCI - SLS

Rozpatrując **stany graniczne użytkowości (SLS)** należy wykazać, że spełnione są odpowiednie **kryteria sztywności konstrukcji** dotyczące:

- ugięć, deformacji (wpływających na wygląd, komfort użytkowników lub funkcję konstrukcji – w tym funkcjonowanie urządzeń),
- drgań (powodujących dyskomfort ludzi i ograniczających przydatność użytkową konstrukcji),
- lokalnych uszkodzeń (wpływających negatywnie na wygląd, trwałość lub funkcjonowanie konstrukcji)

Rozróżnia się **odwracalne i nieodwracalne** stany graniczne użytkowości.

Nieodwracalne stany graniczne użytkowości – stany graniczne, w których pewne konsekwencje oddziaływań, przekraczające określone wymagania użytkowe, pozostają po ustąpieniu tych oddziaływań.

Odwracalne stany graniczne użytkowości – stany graniczne, w których nie pozostają konsekwencje oddziaływań, przekraczające określone wymagania użytkowe po ustąpieniu tych oddziaływań.

STANY GRANICZNE UŻYTKOWALNOŚCI (SLS)

Sprawdzając $E_k \leq C_k$ należy posługiwać się kryteriami użyteczności (C_k) dotyczącymi :

- **Ugięć wpływających na**
 - wygląd,
 - komfort użytkowników lub
 - funkcji konstrukcji (w tym funkcjonowania maszyn i instalacji), lub powodujących uszkodzenia obudowy.
- **Drgań**
 - powodujących dyskomfort ludzi,
 - ograniczających przydatności użytkową konstrukcji.
- **Uszkodzeń, wpływających negatywnie na**
 - wygląd,
 - trwałość,
 - funkcjonowanie konstrukcji.

E_k , C_k - odpowiednio wartości: charakterystyczne efektu oddziaływań i ograniczeń z warunku użyteczności.

W metodzie stanów granicznych i współczynników częściowych definiuje się tzw. **zmienne podstawowe** oraz ich wartości obliczeniowe:

- oddziaływania i wpływy środowiskowe (**F** - obciążenia)

$$F_d = \gamma_F F_{rep}; \quad F_{rep} = \psi F_k$$

- właściwości materiałów i wyrobów (**X** – wytrzymałość materiałów)

$$X_d = X_k / \gamma_M$$

- wielkości geometryczne – wymiary przekroju, elementu, geometria systemu (**a**) i imperfekcje (Δ_a)

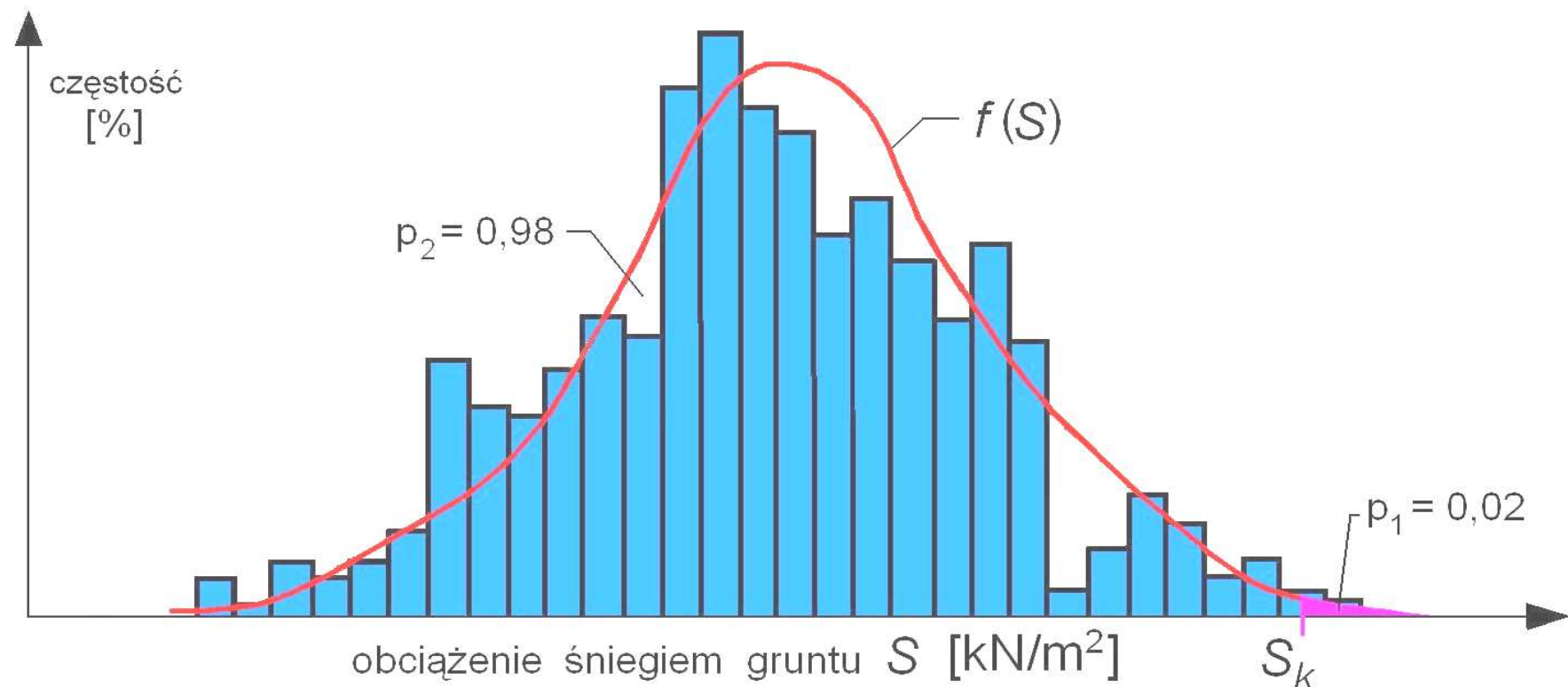
$$a_d = a_{nom}; \quad a_d = a_{nom} \pm \Delta_a$$

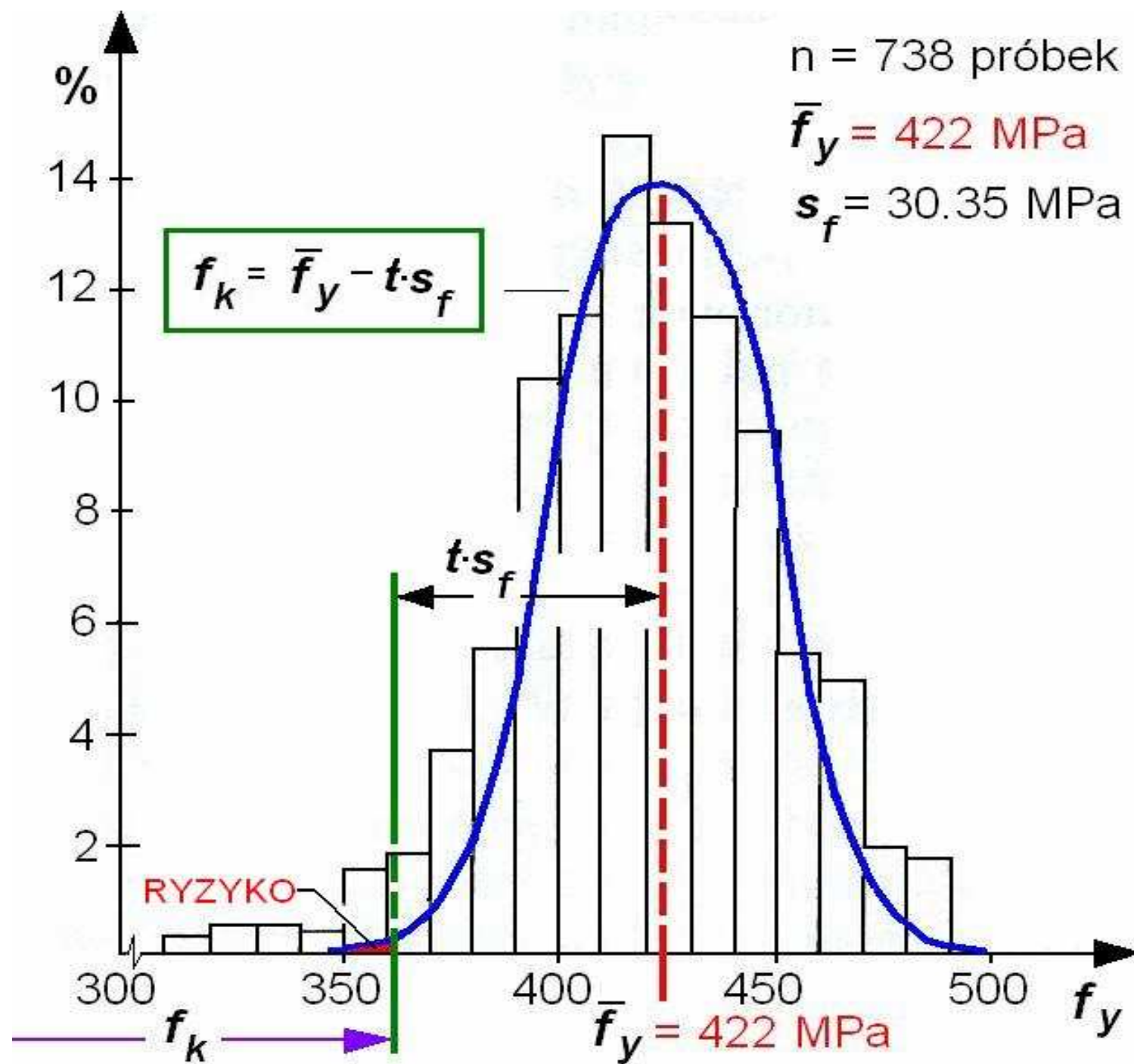
γ_F , γ_M , ψ - odpowiednio współczynniki: obciążeń, nośności oraz zmiennych oddziaływań towarzyszących.

PODSTAWY METODY STANÓW GRANICZNYCH

Bezpieczeństwo konstrukcji jest determinowane przez: **losową nośność - $R(\omega)$** i **losową efekty oddziaływań - $E(\omega)$** .

Parametry nośności lub obciążeń ustala się na podstawie pomiarów i badań doświadczalnych. Te wyniki są podstawą określenia rozkładu empirycznych $f(A)$ np. maksymalnych wartości rocznych obciążeń śniegiem gruntu $f(s)$.





Wartość charakterystyczna np. s_k obciążenia to podstawowa reprezentatywna wartość oddziaływania.

Oblicza się ją jako **kwantyl** rozkładu maksymalnych wartości rocznych na podstawie analiz probabilistycznych.

Np. w przypadku rozkładu normalnego

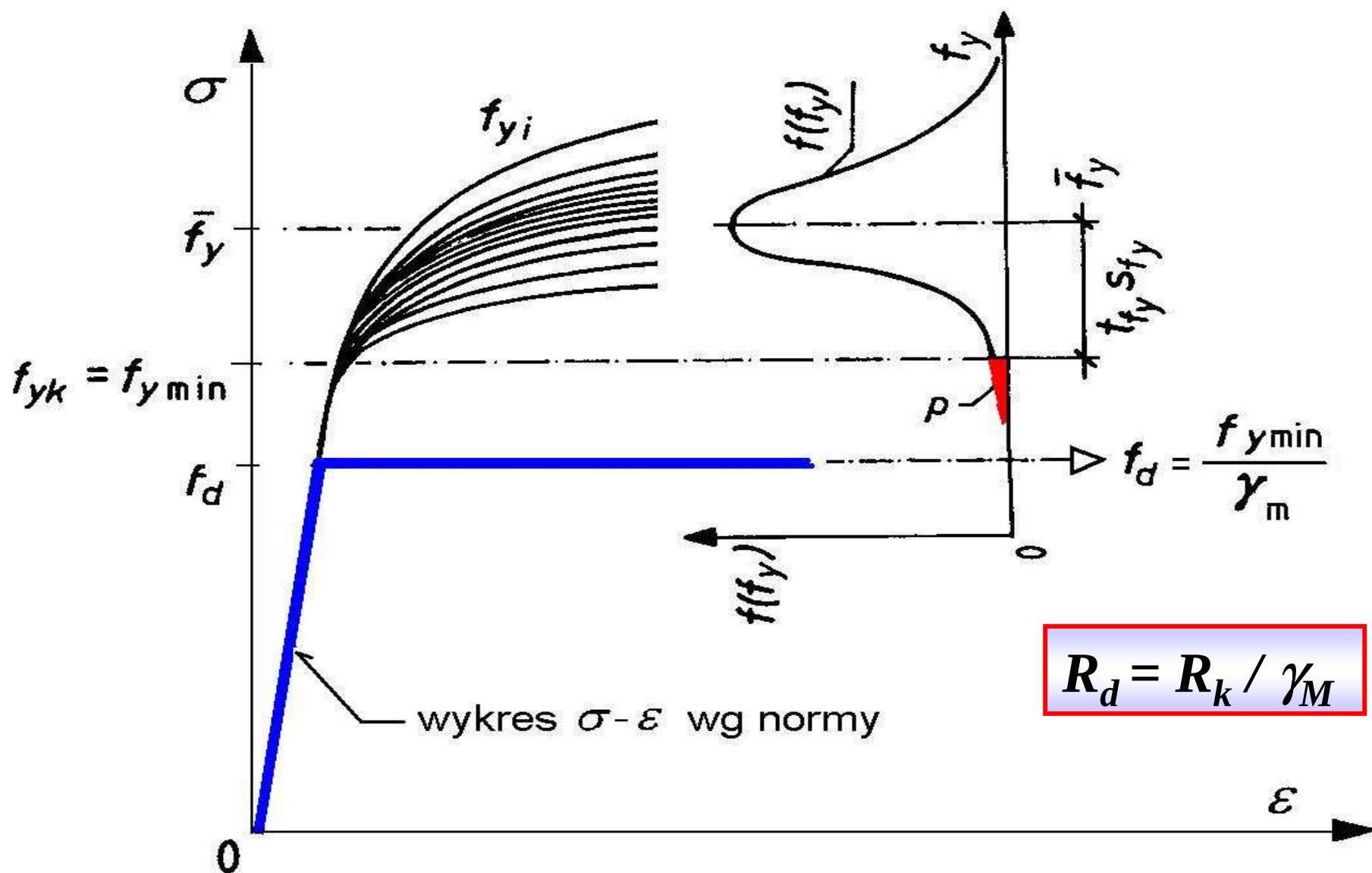
$$s_k = \check{S} (1 + t v_s)$$

Kwantyl rzędu p jest to taka wartość zmiennej losowej obciążenia śniegiem, która jest przewyższana z prawdopodobieństwem

$$1 - p$$

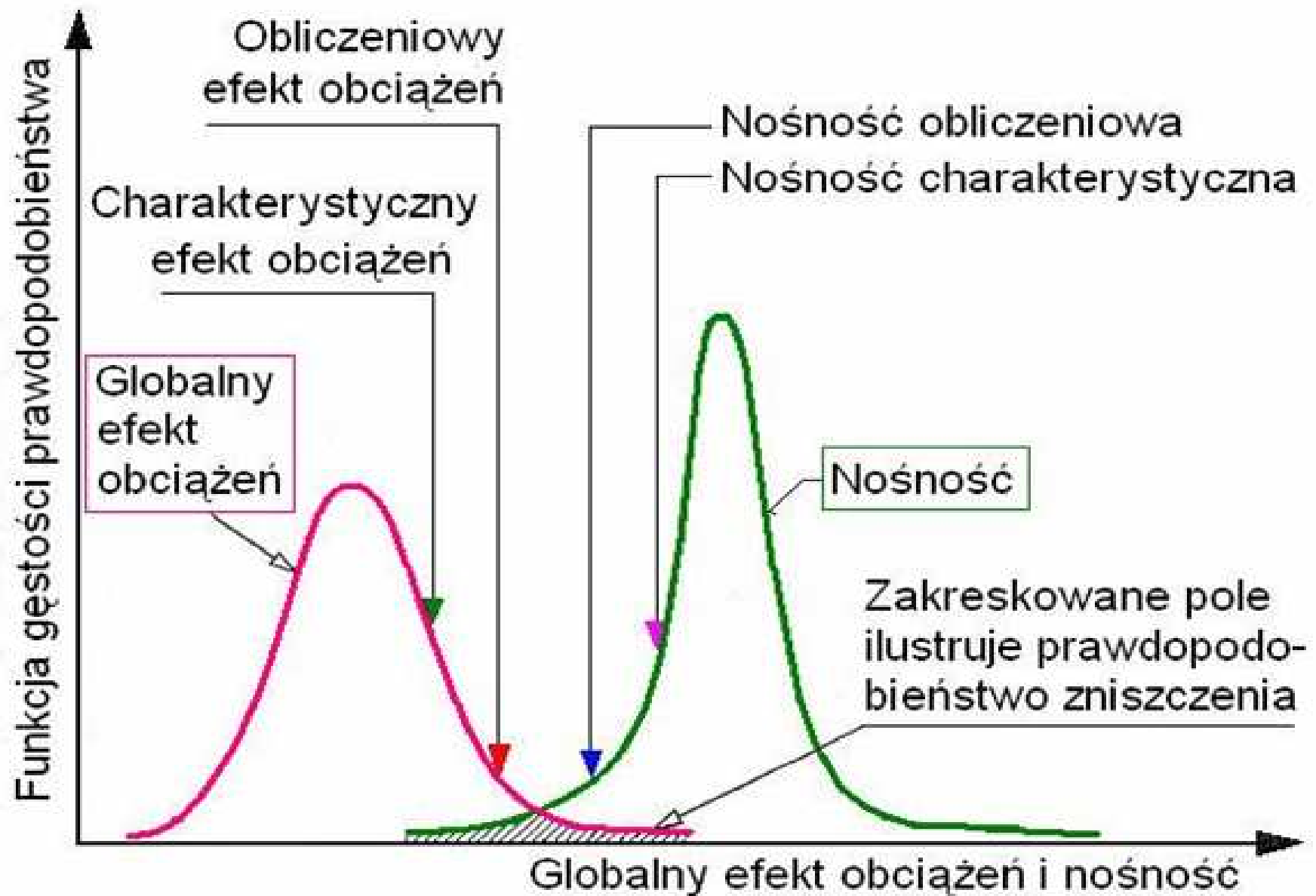
Np. gdy przyjmie się kwanty **0.98**, to prawdopodobieństwo przekroczenia wartości charakterystycznej wynosi **0.02**, czyli ryzyko wynosi **2%**.

t	$Z(t)$	$B(t)$
0,0	0,500 000	0,500 000
0,1	0,460 173	0,460 173
0,2	0,420 740	0,420 740
0,3	0,382 089	0,382 089
0,4	0,344 578	0,344 578
0,5	0,308 535	0,308 535
0,6	0,274 253	0,274 253
0,7	0,241 964	0,241 964
0,8	0,211 855	0,211 855
0,9	0,184 060	0,184 060
1,0	0,158 655	0,158 655
1,1	0,135 666	0,135 666
1,2	0,115 070	0,115 070
1,3	0,096 805	0,096 805
1,4	0,080 757	0,080 757
1,5	0,066 807	0,066 807
1,6	0,054 799	0,945 201
1,7	0,044 565	0,955 435
1,8	0,035 931	0,964 069
1,9	0,028 716	0,971 284
2,0	0,022 750	0,977 250
2,1	0,017 864	0,982 136
2,2	0,013 903	0,986 097
2,3	0,010 724	0,989 276
2,4	0,008 197	0,991 803
2,5	0,006 209	0,993 791
2,6	0,004 661	0,995 339
2,7	0,003 467	0,996 533
2,8	0,002 505	0,997 495
2,9	0,001 866	0,998 134
3,0	0,001 350	0,998 650
3,5	0,000 232	0,999 768
4,0	0,000 032	0,999 968
4,5	0,000 004	0,999 996
5,0	0,000 000 3	0,999 999 7

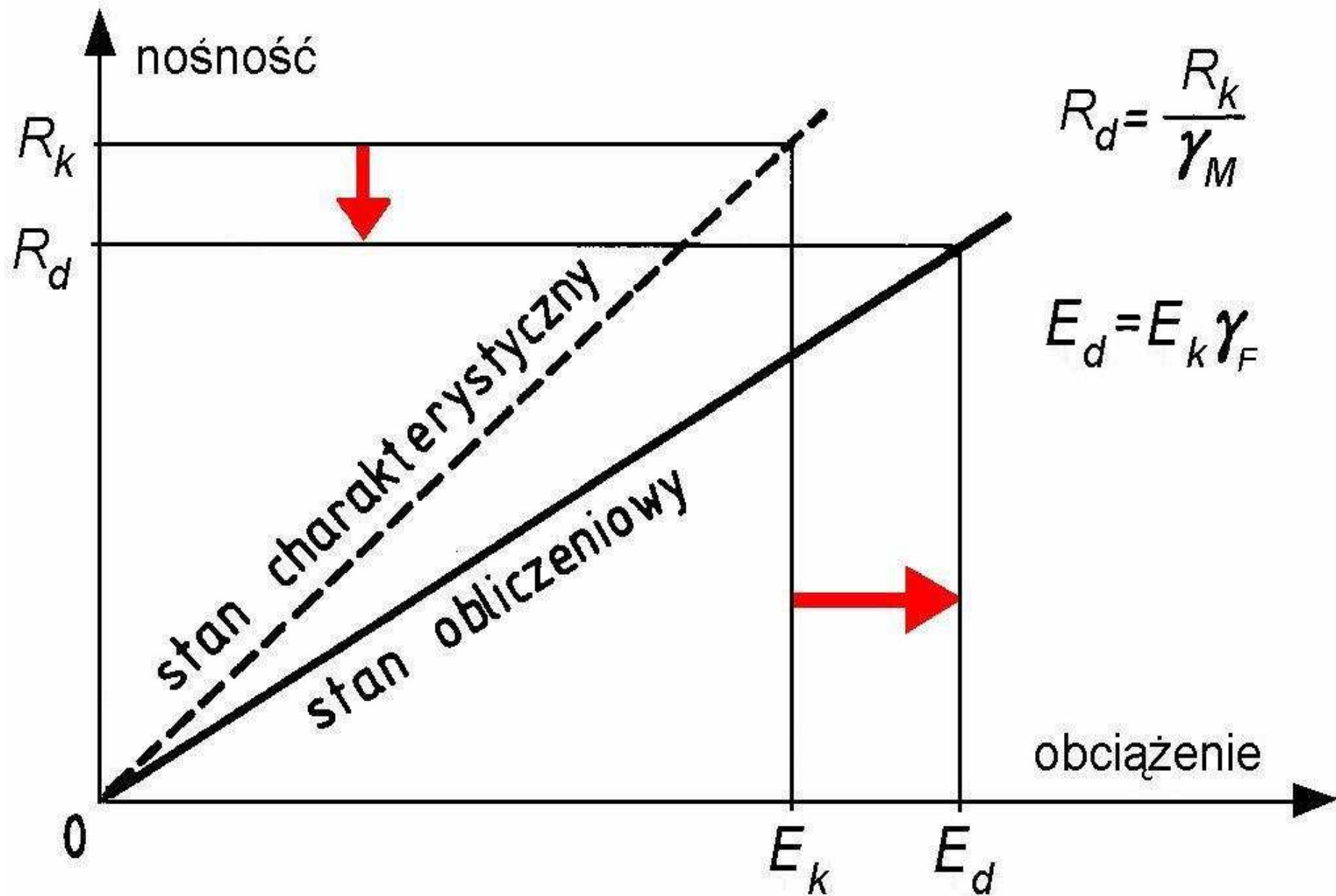


Jeśli w EN 1990÷EN 1999 nie podano inaczej to: kiedy dolna właściwości materiału jest niekorzystna, to jej **wartość charakterystyczną ustala się jako kwantyl 5%**.

UJĘCIE PROBABILISTYCZNE OCENY BEZPIECZEŃSTWA



UJĘCIE DETERMINISTYCZNE OCENY BEZPIECZEŃSTWA



Warunek bezpieczeństwa w metodzie stanów granicznych

$$\boxed{E_d \leq R_d} \quad (1)$$

gdzie: E_d – efekty działań obciążeń (siły wewnętrzne M , N , V – wyznaczone dla obciążeń obliczeniowych)

$$E_d (F_d) = E_d (F_k \times \gamma_F)$$

R_d - nośności elementu

$$R_d = a \cdot C \cdot f_{yk} / \gamma_M$$

w którym: C – charakterystyka geometryczna przekroju pręta
(np. $C = A$ - rozciąganie, $C = W$ - zginanie)

a – współczynnik np. wyboczenia φ , zwichrzenia φ_L .

Ocena bezpieczeństwa (1) w normach oblicza się – stopień wykorzystania nośności elementu

$$\boxed{\frac{E_d}{R_d} = \frac{\text{SIŁA WEWNĘTRZNA}}{\text{NOŚNOŚĆ ELEMENTU}} \leq 1} \quad (2)$$

SPRAWDZANIE NIEZAWODNOŚCI KONSTRUKCJI METODĄ WSPÓŁCZYNNIKÓW CZĘŚCIOWYCH

Rodzaje oddziaływań wpływów środowiskowych (F) ze względu na zmienności w czasie:

- **STAŁE (G)** – ciężar własny konstrukcji, obudowy, urządzeń, skurcz, osiadanie, a także sprężenia (P),
- **ZMIENNE (Q)** – klimatyczne, technologiczne, użytkowe,
- **WYJĄTKOWE (A)** – wybuch, uderzenie przez pojazd, a także sejsmiczne i niektóre obciążenia śniegiem,
- **SEJSMICZNE (A_E)** – siły bezwładności wywołane trzęsieniem ziemi.

Sprawdzając warunki użytkowalności rozpatruje się kombinacje: **charakterystyczne, częste i prawie stałe.**

Rozróżnia się jedno **główne oddziaływanie zmienne** oraz **związane oddziaływanie zmienne** (inne niż główne).

Reprezentatywną wartość oddziaływania wiodącego (głównego) jest wartość charakterystyczna Q_k .

Reprezentatywne wartości związanych (towarzyszących) oddziaływań, są odniesione do wartości charakterystycznej oddziaływania głównego Q_k , za pomocą współczynników ψ_i (redukcyjnych). Służą one do określenia wartości charakterystycznych obciążeń zmiennych wartości:

- **kombinacyjnych:** $\psi_0 Q_k$ – sprawdzanie stanów granicznych nośności i nieodwracalnych stanów granicznych użytkowalności,
- **częstych:** $\psi_1 Q_k$ – sprawdzanie stanów granicznych nośności z uwzględnieniem oddziaływań wyjątkowych i odwracalnych stanów granicznych,
- **quasi-stałych:** $\psi_2 Q_k$ – sprawdzanie stanów granicznych nośności z uwzględnieniem oddziaływań wyjątkowych i nieodwracalnych stanów granicznych użytkowalności.

Współczynniki ψ_i są określone w EN 1990 lub w innych normach obciążeń, albo są ustalone przez inwestora. lub projektanta w porozumieniu z inwestorem.

Podstawowe kombinacje oddziaływań dla budynków (STR) w przypadku trwałych i przejściowych sytuacji obliczeniowych

$$E_d = E \{ \Sigma(\text{UPA} / \text{FPA}) \text{ „+” LVA „+” } \Sigma \text{AVA} \}$$

UPA – niekorzystne oddziaływanie stałe ($\gamma_{G.sup} \mathbf{G}_{k.sup}$),

FPA – korzystne oddziaływanie stałe ($\gamma_{G.inf} \mathbf{G}_{k.inf}$),

LVA – wiodące (główne) oddziaływanie zmienne ($\gamma_Q \mathbf{Q}_k$),

AVA – towarzyszące oddziaływanie zmienne ($\gamma_Q \psi_0 \mathbf{Q}_k$; $\psi_0 < 1$),

„+” – oznacza „należy uwzględnić w kombinacji z”,

Σ – oznacza łączny efekt

$$\Sigma \gamma_G \mathbf{G}_k \text{ „+” } \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} \text{ „+” } \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_k \quad (6.10)$$

Obciążenia: stałe zmienne wiodące zmienne towarzyszące

Zalecane wartości γ_i przy sprawdzaniu nośności konstrukcji

$\gamma_{G.sup} = 1.35$ (niekorzystne), $\gamma_{G.inf} = 1.00$ (korzystne), $\gamma_Q = 1.50$ (lub 0)

Wartości charakterystycznych obciążeń towarzyszących

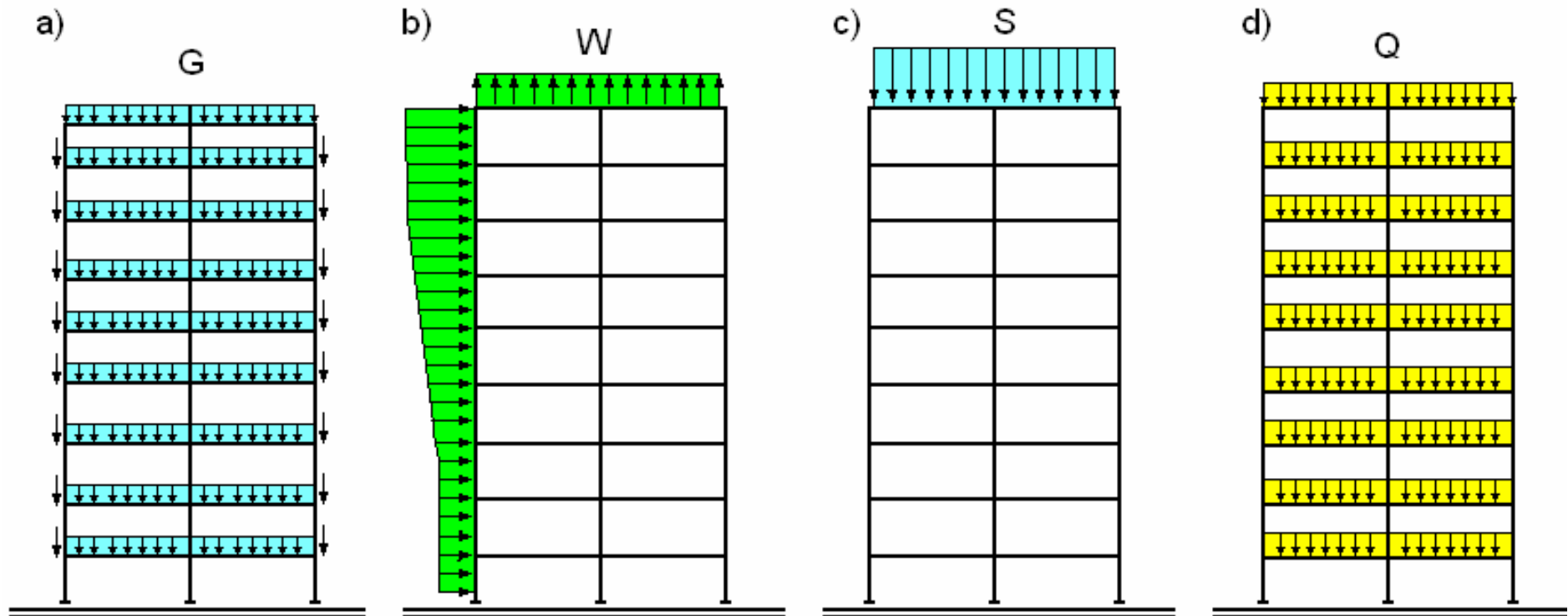
- kombinacyjnych: $\psi_0 S$,
- częstych: $\psi_1 S$,
- prawie stałych: $\psi_2 S$

Wartości współczynników ψ_i dla obciążenia śniegiem:

Region	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Finlandia, Islandia, Norwegia, Szwecja	0,70	0,50	0,20
Pozostałe państwa członkowskie CEN dla miejsc położonych na wysokości $H > 1000$ m powyżej poziomu morza	0,70	0,50	0,20
Pozostałe państwa członkowskie CEN dla miejsc położonych na wysokości $H < 1000$ m powyżej poziomu morza	0,50	0,20	0

Wartości współczynników ψ_0 dla obciążenia budynków

Obciążenia zmienne w budynkach kategorii:	ψ_0	ψ_1	ψ_2
A – powierzchnie magazynowe	0,7	0,5	0,3
B – powierzchnie biurowe	0,7	0,5	0,3
C – miejsca zebrań	0,7	0,7	0,6
D – powierzchnie handlowe	0,7	0,7	0,6
E – powierzchnie magazynowe	1,0	0,9	0,8
F – powierzchnie ruchu pojazdów $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
G – powierzchnie ruchu pojazdów $> 30 \leq 160\text{kN}$	0,7	0,5	0,3
H – dachy	0,0	0,0	0,0



$$E_d = G \cdot (1,35) + W \cdot (1,50) + S \cdot (1,50 \cdot 0,50) + Q \cdot (1,50 \cdot 0,70)$$

$$E_d = G \cdot (1,35) + S \cdot (1,50) + W \cdot (1,50 \cdot 0,6) + Q \cdot (1,50 \cdot 0,70)$$

$$E_d = G \cdot (1,35) + Q \cdot (1,50) + W \cdot (1,50 \cdot 0,60) + S \cdot (1,50 \cdot 0,50)$$

$$E_d = G \cdot (1,00) + W \cdot (1,50)$$

Kombinację oddziaływań (**STR**) (**tab. A1.2B**) można wyrazić jako:

obciążenia: stałe zmienne wiodące zmienne towarzyszące

$$\sum \gamma_G \mathbf{G}_k \text{ „+” } \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} \text{ „+” } \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_k \quad (6.10)$$

albo alternatywnie dla stanów granicznych STR i GEO jako mniej korzystne wyrażenie z dwóch podanych niżej:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \gamma_G \mathbf{G}_k \text{ „+” } \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} \mathbf{Q}_{k,1} \text{ „+” } \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_k \quad (6.10a) \\ \sum \xi \gamma_G \mathbf{G}_k \text{ „+” } \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} \text{ „+” } \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_k \quad (6.10b) \end{array} \right.$$

Obciążenia: stałe zmienne wiodące zmienne towarzyszące

Zalecane wartości γ przy sprawdzaniu nośności konstrukcji

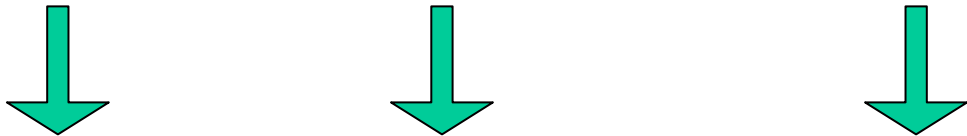
$$\gamma_{G.sup} = 1.35 \text{ (niekorzystne)}, \quad \gamma_{G.inf} = 1.00 \text{ (korzystne)}, \quad \gamma_Q = 1.50 \text{ (lub 0)}$$

$$\xi = 0.85 \text{ (tak, aby } \xi \cdot \gamma_{G.sup} = 0.85 \times 1.35 = 1.15)$$

Wyrażenie (6.10) prowadzi z reguły do większego zużycia materiału

Równowagę statyczną (**EQU**) (tab. A1.2A) konstrukcji budynku zaleca się sprawdzać posługując się wartościami obliczeniowymi oddziaływań:

obciążenia: **stałe** zmienne **wiodące** zmienne **towarzyszące**



$$\Sigma \gamma_G \mathbf{G}_k \text{ „+” } \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} \text{ „+” } \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_k \quad (6.10)$$

Zalecane wartości współczynników przy sprawdzaniu równowagi statycznej konstrukcji

$$\gamma_{G.sup} = \mathbf{1.10} \text{ (niekorzystne)}$$

$$\gamma_{G.inf} = \mathbf{0.90} \text{ (korzystne)}$$

$$\gamma_{Q,1} = \mathbf{1.50} \text{ (lub 0)}$$

$$\gamma_{Q,i} = \mathbf{1.50} \text{ (lub 0)}$$

Rodzaje oddziaływań wpływów środowiskowych (F) ze względu na zmienności w czasie:

- **STAŁE (G)** – ciężar własny konstrukcji, obudowy, urządzeń, skurcz, osiadanie, **a także sprężenia (P),**

Kombinację oddziaływań (**STR**) z uwzględnieniem sprężenia można wyrazić jako:

obciążenia: **stałe** zmienne **wiodące** zmienne **towarzyszące**

$$\sum \gamma_G \mathbf{G}_k \text{ „+” } \gamma_P \mathbf{P} \text{ „+” } \gamma_{Q,1} \mathbf{Q}_{k,1} \text{ „+” } \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \mathbf{Q}_k \quad (6.10)$$

miarodajna wartość reprezentatywna oddziaływania sprężającego (patrz EN 1992 do EN 1996 i EN1998 do 1999)

STANY GRANICZNE UŻYTKOWALNOŚCI

Kombinacje oddziaływań w stanów granicznych użytkowalności:

a) kombinacja charakterystyczna

obciążenia: stałe zmienne wiodące zmienne towarzyszące

$$\sum G_k \text{ „+” } Q_{k,1} \text{ „+” } \sum \psi_{0,i} Q_k \quad (6.14b)$$

b) kombinacja częsta

obciążenia: stałe zmienne wiodące zmienne towarzyszące

$$\sum G_k \text{ „+” } \psi_{1,1} Q_{k,1} \text{ „+” } \sum \psi_{2,i} Q_k \quad (6.15b)$$

c) kombinacja quasi-stała

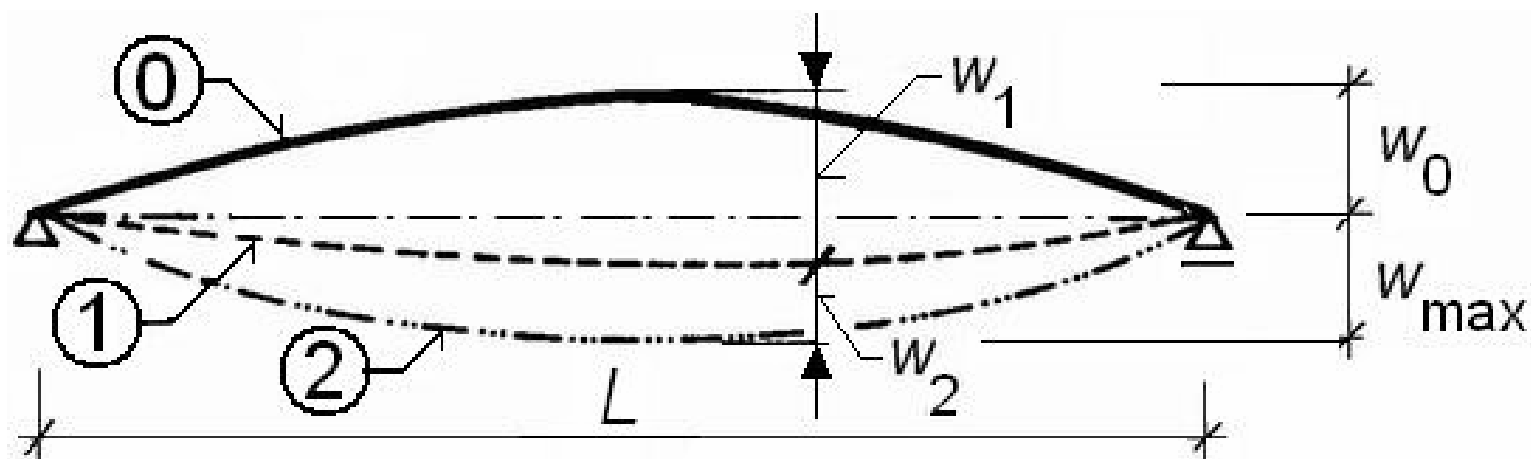
obciążenia: stałe zmienne

$$\sum G_k \text{ „+” } \sum \psi_{2,i} Q_k \quad (6.16b)$$

Podstawowe wymagania dotyczące stanów granicznych użytkowości podano w pkt. 3.4 i Załącznik A1.4.

Graniczne ugięcia pionowe i przemieszczenia poziome w nawiązaniu do PN-EN 1990 / Załącznik A1.4 powinny być podane w specyfikacji projektowej i uzgodnione z inwestorem.



- w_0 – strzałka odwrotna nieobciążonego elementu,
- w_1 – strzałka ugięcia od obciążenia stałego,
- w_2 – strzałka ugięcia od obciążenia zmiennego,
- $w_{\max}$ – pozostałe ugięcie całkowite z uwzględnieniem strzałki odwrotnej.