

2. Projektowanie konstrukcji budowlanych według PN-EN 1990

2.1. Projektowany okres użytkowania

Projektowy okres użytkowania jest to przyjęty w projekcie przedział czasu, w którym konstrukcja ma być użytkowana zgodnie z zamierzonym przeznaczeniem i przewidzianym utrzymaniem, bez potrzeby napraw. Zgodnie z PN-EN 1990 jest on przyjmowany stosownie do rodzaju obiektu budowlanego wedle pięciu kategorii (1÷5) przedstawionych w poniższej tabeli

Tabela 1. Orientacyjny projektowy okres użytkowania wg PN-EN 1990

Kategoria projektowego okresu użytkowania	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

W przypadku zwykłych, powszechnie stosowanych konstrukcji budowlanych zalecany projektowy okres użytkowania wynosi 50 lat. Orientacyjny projektowe okresy użytkowania podano w tabl. 1.

2.2. Sprawdzenie stanów granicznych

Podstawę metodologiczną sprawdzanie niezawodności konstrukcji wg PN-EN 1990 stanowi metoda stanów granicznych i współczynników częściowych.

Rozróżnia się stany graniczne:

- nośności, związany z katastrofą lub inną formą zniszczenia konstrukcji nośnej; jest to tzw. I stan graniczny,

- użyteczności, po przekroczeniu których konstrukcja przestaje spełniać stawiane jej wymagania użytkowe np.: deformacje, drgania; jest to tzw. II stan graniczny.

Stany graniczne nośności

Stany graniczne dotyczące bezpieczeństwa ludzi i/lub bezpieczeństwa konstrukcji są stanami granicznymi nośności, które w PN-EN 1990 oznaczono ULS (skrót ULS od angielskiego *ultimate limit states* - stan graniczny nośności).

W projektowaniu metodą stanów granicznych należy rozpatrzyć wszystkie możliwe sytuacje obliczeniowe i oddziaływania oraz wykazać, iż żaden z właściwych stanów granicznych nie jest przekroczony. Na przykład, gdy analizuje się stan graniczny związany z transformacją konstrukcji w mechanizm zniszczenia, to należy wykazać, że jego powstanie nie jest możliwe przed osiągnięciem wartości obliczeniowych sił wewnętrznych większych niż parametry nośności ustroju przy zadanym obciążeniu.

Należy sprawdzać następujące stany graniczne ULS oraz formy zniszczenia:

ULS – EQU - utrata równowagi konstrukcji lub jakiegokolwiek jej części, uważanej za ciało sztywne (np. przewrócenie):

$$E_{d,dest} \leq E_{d,stab} \quad (0.1)$$

gdzie $E_{d,dest}$, $E_{d,stab}$ - odpowiednio wartości obliczeniowe efektu oddziaływań destabilizujących i stabilizujących.

ULS – STR - zniszczenie na skutek nadmiernego odkształcenia, przekształcenia się w mechanizm, zniszczenia materiałowego, utratę stateczności konstrukcji lub jej części, łącznie z podporami i fundamentami. (przykład wyczerpania stanu nośności prętów pokazano na rysunku poniżej)

Kryteria nośności mają następującą postać

$$E_d(F_d) \leq R_d \quad (0.2)$$

gdzie

$E_d(F_d)$ - wartość obliczeniowa efektu oddziaływań tj. sił wewnętrznych w konstrukcji obliczonych dla obciążeń obliczeniowych F_d

R_d - wartość obliczeniowa odpowiedniej nośności konstrukcji (przekroju, elementu).

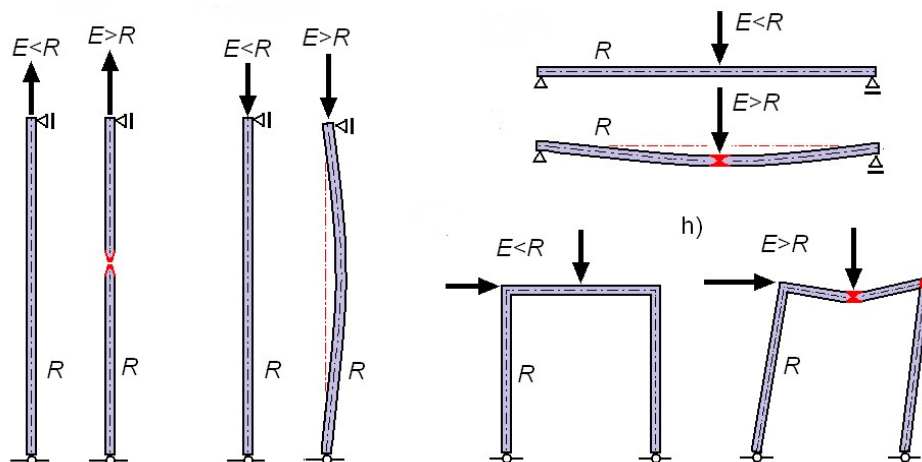


Fig. 2.1. Przykłady wyczerpania stanu nośności prętów rozciąganych, ściskanych, zginanych i ramy

ULS – GEO - zniszczenie lub nadmierne deformacje podłoża,

ULS – FAT - zniszczenie zmęczeniowe.

Stany graniczne użyteczności

Rozpatrując stany graniczne użyteczności należy wykazać, że spełnione są odpowiednie kryteria dotyczące ugięć i deformacji, drgań i lokalnych uszkodzeń konstrukcji. Rozróżnia się odwracalne i nieodwracalne stany graniczne użyteczności.

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

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

Rozpatrując stany graniczne użyteczności należy wykazać, że spełnione są odpowiednie kryteria sztywności konstrukcji. Stany graniczne dotyczące:

- funkcji konstrukcji lub jego elementu w warunkach zwykłego użytkowania,
- komfortu użytkowników,
- wyglądu (ugięcia, rysy) obiektu budowlanego, 32

są stanami granicznymi użyteczności, które w PN-EN 1990 oznaczono SLS (skrót SLS od angielskiego *serviceability limit states* – stan graniczny użyteczności).

W ocenie stanu granicznego użyteczności należy analizować kryteria:

- ugięć, deformacji wpływających na
- wygląd,
- komfort użytkowników
- funkcję konstrukcji –w tym funkcjonowanie urządzeń, np. „klinowanie się suwnicy”),
- drgań:
- powodujących dyskomfort ludzi
- ograniczających przydatność użytkową konstrukcji),
- lokalnych uszkodzeń wpływających negatywnie na:
- wygląd
- trwałość
- funkcjonowanie konstrukcji.

Związane z użytecznością konstrukcji kryteria sztywności (ugięcia, deformacje, częstości drgań, lokalne uszkodzenia) sprawdza się ze wzoru:

$$E_{k,ser}(F_k) \leq C_d \quad (0.3)$$

gdzie:

$E_{k,ser}(F_k)$ - wartość efektu oddziaływań (parametry sztywnościowe obliczone dla obciążeń charakterystycznych F_k)

C_d - graniczna wartość obliczeniowa odpowiedniego parametru dotyczącego użyteczności.

Stany graniczne konstrukcji odnosić należy do analizowanych sytuacji obliczeniowych (trwałych, przejściowych, wyjątkowych, sejsmicznych).

2.3. Rodzaje oddziaływań i ich współczynniki częściowe

Obciążenia oddziaływania (np. wiatru) i wpływy (np. temperatury) są to wszelkie działania fizyczne, które powodują powstanie bądź zmianę stanu wyężenia i odkształcenia konstrukcji (przekrojów, prętów, połączeń, itp.). Mogą być one klasyfikowane w różny sposób. Zależą one m.in. od sposobu użytkowania budowli przez ludzi,

procesów wytwórczych, np. przemysłowych, a także od warunków klimatycznych (śnieg, wiatr).

Zależnie od zmienności w czasie i sposobu działania, oddziaływania konstrukcji budowlanych według PN-EN 1990 dzieli się na:

- **stałe** G - w tym ciężar własny, a także oddziaływania pośrednie (np. nierównomierne osiadanie, skurcz P),
- **zmienne** Q - użytkowe, technologiczne, śnieg, wiatr,
- **wyjątkowe** A - wybuchy, uderzenia, trzęsienie ziemi

Obciążenia stałe to obciążenia, których wartość, kierunek i położenie pozostają niezmiennie w czasie użytkowania budowli, jej montażu lub remontu. Pochodzą one nie tylko od ciężaru konstrukcji, ale także przegród budowlanych, warstw izolacyjnych, wykończeniowych i stałych elementów wyposażenia. Określone je w PN-EN 1991-1-1.

Obciążenia zmienne mogą zmieniać wartość, kierunek lub położenie w czasie użytkowania budowli bądź w innym określonym okresie. Są określone w PN-EN 1991. Zależnie od długości okresów działania, obciążenia dzieli się na:

- w całości długotrwałe (np. ciężar własny urządzeń związanych na stałe z użytkowaniem budowli),
- w części długotrwałe (np. obciążenia stropów w pomieszczeniach mieszkalnych, magazynowych, przemysłowych),
- w części krótkotrwałe (np. obciążenia śniegiem, wiatrem, temperaturą pochodzenia klimatycznego).

Obciążenia wyjątkowe, to obciążenia, które mogą wystąpić w wyniku mniej prawdopodobnych zdarzeń w czasie użytkowania budowli. Zalicza się do nich obciążenia i oddziaływania spowodowane pożarem, wybuchem, powodzią, uderzeniem pojazdu, wstrząsami sejsmicznymi, itp.

Odmienny ważny podział obciążeń, który uwzględnia przede wszystkim sposób działania na konstrukcje i ewentualne ich skutki, to podział na obciążenia statyczne i obciążenia dynamiczne.

Obciążenia statyczne, to obciążenia których wartość zwiększa się powoli od zera do wartości końcowej i dalej nie zmienia się.

Obciążenia dynamiczne wywołują drgania konstrukcji; są zmienne w czasie, przy czym może to następować w sposób nagły (np. obciążenia udarowe) bądź okresowo zmienny (np. obciążenia od pracujących maszyn i urządzeń technologicznych, suwnic itp.). Skutki (naprężenia, przemieszczenia) obciążeń dynamicznych są większe niż skutki obciążeń statycznych o tej samej wartości.

Praktycznie w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych uwzględnia się wyłącznie styczne działanie obciążeń (obciążenia dynamiczne zastępuje się zwiększonymi, zastępczymi obciążeniami statycznymi o wartościach równoważnych co do skutków). Wartości zastępczych obciążeń statycznych na ogół określa się na podstawie obliczeń dynamicznych. Można je też w określonych sytuacjach ustalić mnożąc wartości obciążeń statycznych przez tzw. współczynniki dynamiczne.

Wartości charakterystyczne obciążeń F_k (stałych G_k , zmiennych Q_k , wyjątkowych A_k) określono w PN-EN 1991 lub są ustalone na podstawie wymiarów elementów i ciężarów objętościowych poszczególnych materiałów bądź wg danych producenta.

Do sprawdzenia stanów granicznych konstrukcji konieczna jest jej analiza, która powinna być spójna z przyjętymi założeniami oraz odpowiadać zachowaniu projektowanego obiektu. Jako podstawowe rodzaje analizy PN-EN 1990 wymienia: analizę statyczną (liniową lub nieliniową), analizę dynamiczną, analizę w sytuacji pożarowej, a także obliczenia wspomagane badaniami.

Dla potrzeb oceny prognozowanego wyężenia konstrukcji, w kontekście oddziaływań oraz ich **kombinacji** bada się **sytuacje obliczeniowe**.

2.4. Kombinacja oddziaływań

Na konstrukcję może działać równocześnie kilka różnych rodzajów obciążeń. Należy dokonać wyboru możliwych układów różnych obciążeń uwzględniając przy tym, że niektóre z nich mogą nie występować jednocześnie lub zmieniać miejsce przyłożenia. Obliczenia statyczne wykonuje się z uwzględnieniem najbardziej niekorzystnych kombinacji obciążeń, które wyznacza się na podstawie zaleceń podanych w PN-EN 1990.

Kombinacja oddziaływań – to zbiór wartości obliczeniowych przyjętych do sprawdzenia niezawodności konstrukcji, kiedy w rozpatrywanym stanie granicznym

występują jednocześnie różne oddziaływania (w celu wyznaczenia maksymalnych wartości sił wewnętrznych w przekrojach krytycznych ustroju).

Oddziaływania w wielu przypadkach, a także właściwości konstrukcji zmieniają się wraz z czasem. Te zmiany zachodzące podczas całego okresu użytkowania konstrukcji powinny być uwzględnione w postaci odrębnych sytuacji obliczeniowych, z których każda odpowiada określonemu przedziałowi czasu i odnośnym zagrożeniom, warunkom i stosownym stanom granicznym. W związku z tym wymagane jest oddzielne sprawdzenie niezawodności w każdej sytuacji obliczeniowej, przy odpowiednim uwzględnieniu skutków niespełnienia wymagań.

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.

Rozróżnia się sytuacje obliczeniowe:

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

Sytuacje trwałe i przejściowe są traktowane jako występujące z całą pewnością. Sytuacje wyjątkowe, co wynika z definicji, zachodzą ze stosunkowo niskim prawdopodobieństwem podczas obliczeniowego okresu użytkowania konstrukcji.

2.5. Wartości obliczeniowe obciążeń

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

$$F_d = \gamma_{F,i} F_{rep,i} \quad (0.4)$$

$$F_{rep,i} = \psi_i F_{k,i} \quad (0.5)$$

Gdzie:

- $F_{rep,i}$ - wartość reprezentatywna oddziaływania
- $F_{k,i}$ - jest wartością reprezentatywną oddziaływania
- $\gamma_{F,i}$ - współczynnik częściowy dla oddziaływań, uwzględniający możliwość niekorzystnych odchyłeń wartości oddziaływań od wartości reprezentatywnych
- ψ_i - współczynniki kombinacyjne oddziaływań zmiennych:
- $\psi_i=1,0$ lub
- ψ_0 - dla wartości kombinacyjnej
- ψ_1 - dla wartości częstej
- ψ_2 - dla wartości prawie stałej

W kombinacji oddziaływań wyróżnia się jedno główne (wiodące) oddziaływanie zmienne $Q_{k,1}$ i drugorzędne oddziaływania zmienne $Q_{k,i}$.

Wyróżniamy następujące wartości reprezentatywne obciążeń zmiennych:

- $\psi Q_{k,1}$ - reprezentatywna wartość oddziaływania głównego (wiodącego) $\psi=1$;
- $\psi_{0,Q_{k,i}}$ - wartość kombinacyjna i -tego oddziaływania zmiennego. - stosowana przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności i nieodwracalnych stanów granicznych użyteczności;
- $\psi_{1,Q_{k,i}}$ - wartość częsta i -tego oddziaływania zmiennego. - stosowana przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności z uwzględnieniem oddziaływań wyjątkowych i przy sprawdzaniu odwracalnych stanów granicznych;
- $\psi_{2,Q_{k,i}}$ - wartość quasi-stała i -tego oddziaływania zmiennego. - stosowana przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności z uwzględnieniem oddziaływań wyjątkowych STR i przy sprawdzaniu nieodwracalnych stanów granicznych użyteczności.

Wartości współczynników ψ podano w Załączniku A1 w PN-EN 1990 i PN-EN 1991 lub w innych odpowiednich normach obciążeń.. Wartości współczynników mogą też być określone w Załączniku Krajowym PN-EN 1990. W poniższej tabeli podano wybrane wartości tych współczynników wg PN-EN 1990.

Tablica 1. Zalecane wartości współczynników kombinacyjnych ψ wg PN-EN 1990

Oddziaływania	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Obciążenie zmienne w budynkach mieszkalnych	0,7	0,5	0,3
Obciążenie zmienne w budynkach biurowych	0,7	0,5	0,3
Obciążenie powierzchni magazynowych	1,0	0,9	0,8
Obciążenie śniegiem w miejscowościach położonej na wysokości $H > 1000$ m ponad poziomem morza	0,7	0,5	0,2
Obciążenie śniegiem w miejscowościach położonej na wysokości $H < 1000$ m ponad poziomem morza	0,5	0,2	0
Obciążanie wiatrem	0,6	0,2	0
Obciążenie zmienne w budynkach mieszkalnych	0,7	0,5	0,3

Współczynniki częściowe uwzględniające niepewność: reprezentowanych wartości oddziaływań γ_f oraz modelu oddziaływań lub efektów oddziaływań γ_{Sd} , składają się na współczynnik częściowy dla oddziaływań γ_F (po stronie oddziaływań – mnożnik). Można go wyrazić wzorem:

$$\gamma_F = \gamma_f \gamma_{Sd} \quad (0.6)$$

2.6. Wartości obliczeniowe charakterystyk materiałów i wielkości geometrycznych

Wartości obliczeniowe właściwości materiałów i wyrobów (X - wytrzymałość materiałów) można wyrazić wzorem:

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad (0.7)$$

Współczynniki częściowe uwzględniające niepewność charakterystycznych właściwości materiału γ_m oraz modelu stanu granicznego nośności γ_{Rd} składają się na wartość współczynnika nośności γ_M (po stronie nośności – dzielnik), który można wyrazić wzorem

$$\gamma_M = \gamma_m \gamma_{Rd} \quad (0.8)$$

Obliczeniowe wartości wielkości geometrycznych - wymiary przekroju elementu, przedstawia wzór:

$$a_d = a_{nom} + \Delta_a \quad (0.9)$$

gdzie: geometria systemu (a) i imperfekcje (Δ_a).

2.7. Kombinacje oddziaływań

Wymiarowanie konstrukcji jest to sprawdzenie, czy obliczone najniekorzystniejsze siły wewnętrzne nie są większe od nośności elementów wynikające z założonych wstępnie wymiarów ich przekrojów poprzecznych oraz cech wytrzymałościowych przyjętych materiałów. Do wykonania tego etapu obliczeń niezbędna jest znajomość sił wewnętrznych w całej konstrukcji.

Przypadki obciążeń konstrukcji obejmują szczególne usytuowanie obciążeń zmiennych (oraz stałych), które są uwzględniane w obliczeniach (na konstrukcję może działać równocześnie kilka różnych rodzajów obciążeń). W ocenie wyęczenia oddziaływania zmienne powinny być tak usytuowane, aby wywołać najniekorzystniejsze skutki w konstrukcji, w analizowanym stanie granicznym. Obliczenia statyczne wykonuje się z uwzględnieniem najbardziej niekorzystnych kombinacji obciążeń.

Kombinacja oddziaływań stanowi zbiór wartości obliczeniowych do sprawdzenia niezawodności konstrukcji, pod równoczesnym wpływem różnych oddziaływań. Kombinację schematów obciążeń należy ustalać indywidualnie dla każdego przekroju analizowanej konstrukcji. Nie można bowiem ustalić jednej wspólnej kombinacji obciążeń zmiennych, efektem działania której będzie równoczesne ekstremalne wyęczenie wszystkich badanych przekrojów krytycznych konstrukcji.

W Załączniku A1 w PN-EN 1990 *Postanowienia dotyczące budynków* podano: reguły i metody ustalania kombinacji oddziaływań, zalecane wartości obliczeniowe oddziaływań: stałych, zmiennych i wyjątkowych oraz współczynników ψ_i w obliczeniach budynków. Wartości ψ_i podano w tabelicy A1.1.

2.7.1. Obliczeniowe efekty oddziaływań w stanie granicznym nośności

Dla stanu granicznego nośności (STR/GEO) podano w tabelicy A1.2(B) (zestaw B) na podstawie wzoru 6.10 normy, kombinacja ustalana jest na podstawie wzoru:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (0.10)$$

Pierwszy człon to obciążenia stałe, drugi – sprężenie, trzeci – wiodące oddziaływanie zmienne, czwarty – towarzyszące oddziaływanie zmienne.

$G_{k,j}$ – charakterystyczne oddziaływanie stałe j

P_k – charakterystyczne oddziaływanie sprężające

$Q_{k,i}$ – charakterystyczne oddziaływanie zmienne i

$\gamma_{G,j}$ – współczynnik częściowy oddziaływanie stałego j

γ_P – współczynnik częściowy oddziaływania sprężającego

$\gamma_{Q,i}$ – współczynnik częściowy oddziaływania zmiennego i

$\psi_{0,i}$ – współczynnik dla wartości kombinacyjnej oddziaływania towarzyszącego i

„+” – należy uwzględnić „z” (należy go traktować jako kombinację obciążeń konstrukcji w celu uzyskania maksimum efektu oddziaływań)

Zalecane w PN-EN 1990 wartości współczynników obciążeń dla trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej :

$$\gamma_{Gj,\text{sup}} = 1,35 \quad (0.11)$$

$$\gamma_{Gj,\text{inf}} = 1,00$$

$$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,5 \text{ (lub 0)} \quad (0.12)$$

gdzie

$\gamma_{Gj,\text{sup}}$ – współczynnik obciążenia, gdy występuje niekorzystne oddziaływanie stałe j

$\gamma_{Gj,\text{inf}}$ – współczynnik obciążenia, gdy występuje korzystne oddziaływanie stałe j

Załącznik Krajowy w PN-EN 1990 zaleca, aby przy sprawdzaniu stanów granicznych STR i GEO przyjmować jako miarodajną kombinację oddziaływań mniej korzystną z dwóch podanych poniżej (wzory 6.10a oraz 6.10b normy):

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (0.13)$$

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (0.14)$$

Gdzie

$\xi_j = 0,85$ – współczynnik redukcyjny dla niekorzystnych obciążeń stałych;

$\psi_{0,1}$ – współczynnik dla wartości kombinacyjnej głównego oddziaływania zmiennego.

2.7.2. Obliczeniowe efekty oddziaływań w stanie równowagi statycznej

Dla równowagi statycznej ustroju – stan EQU podano w tablicy A1.2(A) (zestaw A) na podstawie wzoru 6.10 normy, kombinacja ustalana jest na podstawie wzoru:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (0.15)$$

Zalecane w PN-EN 1990 wartości współczynników obciążeń:

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,10 \quad (0.16)$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 0,90$$

$$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,5 \text{ (lub 0)} \quad (0.17)$$

gdzie

W przypadku, kiedy sprawdzenie równowagi statycznej STR – EQU uwzględnia także nośność elementów konstrukcji, można zamiast dwukrotnego sprawdzania według (0.10) i (0.15), dokonać sprawdzenia jednokrotnego według (0.15) z podanym niżej zestawem wartości zalecanych:

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35 \quad (0.18)$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,15$$

$$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,5 \text{ (lub 0)} \quad (0.19)$$

2.7.3. Wyjątkowa sytuacja projektowa

W przypadku wyjątkowej sytuacji projektowej należy zgodnie z PN-EN 1990 przyjmować kombinacje oddziaływań według tabl. A1.3 – *Wartości obliczeniowe oddziaływań przyjmowanych do wyjątkowej i sejsmicznych kombinacji oddziaływań*. Kombinacja wyjątkowa (wzór 6.11a/b normy) ustalana jest na podstawie wzoru:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ lub } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (0.20)$$

Kombinacja sejsmiczna (wzór 6.12a/b normy) ustalana jest na podstawie wzoru:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (0.21)$$

2.7.4. Charakterystyczne efekty oddziaływań w stanie granicznym użyteczności

Sprawdzenie stanu granicznego użyteczności ma na celu przede wszystkim niedopuszczenie do wystąpienia nadmiernych przemieszczeń i drgań konstrukcji, utrudniających lub uniemożliwiających prawidłowe użytkowanie obiektu. W tej analizie ważne są skutki przemieszczeń i odkształceń konstrukcji, które mogą się objawiać w postaci:

- uszkodzenia lub zniszczenia innych części konstrukcji lub przyłączonego wyposażenia (np. pękanie szyb, tynków),
- utrudnienia lub uniemożliwienia użytkowania budowli zgodnie z jej założeniem funkcjonalnym (np. zakłócenie pracy maszyn i instalacji),
- drgań, oscylacji lub przechyłów, które powodują dyskomfort użytkowników budynku (złe samopoczucie człowieka) lub zniszczenie jego wyposażenia a także wymóg nieprzekraczania dopuszczalnych przyspieszeń (drgań) oraz poziomu hałasu,

W celu uniknięcia powyższych zjawisk konieczne jest ograniczenie: ugięć, deformacji, przechyłów i drgań.

Konstrukcje i ich elementy powinny być zaprojektowane tak, aby ww. parametry mieściły się w granicach uzgodnionych i przyjętych przez inwestora, projektanta, użytkownika i kompetentne władze jako właściwe z punktu widzenia sposobu użytkowania i przeznaczenia obiektu, a także materiałów niekonstrukcyjnych. Według PN-EN 1990 wymagania dotyczące parametrów użyteczności C_d powinny być ustalone niezależnie dla każdego projektu i uzgodnione z inwestorem lub odpowiednimi przepisami (normami) krajowymi. W ustalaniu parametrów użyteczności (ugięć, przemieszczeń, drgań itp.) stosuje się kombinacje oddziaływań:

- charakterystyczną

$$E_{k,ser} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (0.22)$$

- częstą

$$E_{k,ser} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (0.23)$$

- quasi-stałą

$$E_{k,ser} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (0.24)$$

2.8. Zarządzanie niezawodnością

Główne przesłanki zapewnienie niezawodności konstrukcji według PN-EN 1990 to:

- projektowanie – zgodne z Eurokodami,
- wykonanie – zgodne z właściwymi normami przywołanymi w Eurokodach,
- zarządzanie – zorientowane na jakość tj. stosowanie odpowiednich procedur nadzoru i kontroli w całym procesie budowlanym.

W zarządzaniu niezawodnością konstrukcji można przyjmować różne jej poziomy. W wyborze poziomu niezawodności konstrukcji, uwzględniania się: możliwe przyczyny i/lub postacie stanów granicznych, możliwe konsekwencje zniszczenia takie jak zagrożenie życia, szkody, straty materialne, reakcje społeczne na zaistniałe

W zależności od rodzaju obiektu i konsekwencji zniszczenia jego ustroju nośnego przyjmuje się różne poziomy niezawodności. Można stosować zróżnicowane poziomy niezawodności w postaci 3 klas niezawodność (RCX), którym odpowiadają 3. klasy konsekwencji (CCX). Dla ustalonych klas RCX oraz CCX dobiera się:

- poziom nadzoru projektowania (DSL_Y) i
- poziom inspekcji wykonawstwa (IL_Y).

Zaleca się, aby poziom wymagań był nie niższy niż klasa niezawodności i konsekwencji ($Y \geq X$) gdzie $Y, X = 3, 2, 1$. W zależności od uwarunkowań można przyjąć klasę niezawodności konstrukcji RC3 (zaostrzoną), RC2 (przeciętną) lub RC1 (niższą). W przypadku zwykłych, powszechnie stosowanych konstrukcji budowlanych przyjmuje się uwarunkowania przeciętne ($Y = X = 2$).

Tablica 1. Definicje klas konsekwencji zniszczenia konstrukcji wg PN-EN 1990

Klasa konsekwencji	Opis	Przykłady konstrukcji budowlanych i inżynierskich
CC3	Wysokie zagrożenie życia ludzkiego lub bardzo duże	Widownie, budynki użyteczności publicznej, których

	konsekwencje ekonomiczne, społeczne i środowiskowe	konsekwencje zniszczenia są wysokie
CC2	Przeciętne zagrożenie życia ludzkiego lub znaczne konsekwencje ekonomiczne, społeczne i środowiskowe	Budynki: użyteczności publicznej, mieszkalne, biurowe, których konsekwencje zniszczenia są przeciętne
CC1	Niskie zagrożenie życia ludzkiego, małe lub nieznaczne konsekwencje ekonomiczne, społeczne i środowiskowe	Budynki rolnicze, w których ludzie zazwyczaj nie przebywają oraz szklarnie

Klasy niezawodności (RCX) mogą być zdefiniowane za pomocą wskaźnika niezawodności β . Ogólnie uważa się, że projektowanie przy zastosowaniu PN-EN 1990 z podanymi w normie współczynnikami prowadzi do konstrukcji której wartość β jest większa niż 3,8 dla 50-letniego okresu odniesienia

Tablica 1. Zalecane minimalne wartości wskaźnika niezawodności wg PN-EN 1990

Klasa niezawodności	Okres odniesienia 1 rok	Okres odniesienia 50 lat
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

Obliczeniowo różnicowanie klas niezawodności konstrukcji uzyskuje się za pomocą m.in. współczynników K_{Fi} do współczynników częściowych γ_F stosowanych w kombinacjach obciążeń podstawowych dla stałych sytuacji obliczeniowych. Wynoszą one dla:

- RC1 $K_{Fi}=0,9$
- RC2 $K_{Fi}=1,0$
- RC3 $K_{Fi}=1,1$

Poziomy DSLY powinny być powiązane z klasą niezawodności RCX oraz wdrożone za pomocą odpowiednich środków zarządzania jakością

Tablica 1. Różnicowanie nadzoru w trakcie projektowania budowli wg PN-EN 1990

Poziomy nadzoru przy projektowaniu	Charakterystyka nadzoru	Minimalne zalecane wymagania przy sprawdzaniu obliczeń, rysunków i specyfikacji
DSL 3 odniesiony do RC3	Nadzór zaostrzony	Sprawdzenie przez stronę trzecią. Sprawdzanie przez inną jednostkę projek-

		ową
DSL 2 odniesiony do RC2	Nadzór normalny	Sprawdzenie zgodnie z procedurami jednostki projektowej
DSL 3 odniesiony do RC3		Autokontrola. Sprawdzanie przez autora projektu

Przyjęte w PN-EN 1990 trzy poziomy inspekcji w trakcie wykonania obiektów budowlanych (ILY) podano w tablicy poniżej.

Tablica 1. Różnicowanie nadzoru w trakcie projektowania budowli wg PN-EN 1990

Poziom inspekcji	Charakterystyka inspekcji	Wymagania
IL 3 odniesiony do RC3	Inspekcja zaostrożona	Inspekcja przez stronę trzecią
IL 2 odniesiony do RC2	Inspekcja normalna	Inspekcja zgodna z procedurami jednostki wykonawczej
IL 3 odniesiony do RC3		Autoinspekcja