

# Analiza uwzględnienia współczynników kombinacyjnych zmniejszających obciążenia na podstawie normy Eurokod 0

Dr inż. Jarosław Siwiński, prof. dr hab. inż. Adam Stolarski,  
Wojskowa Akademia Techniczna

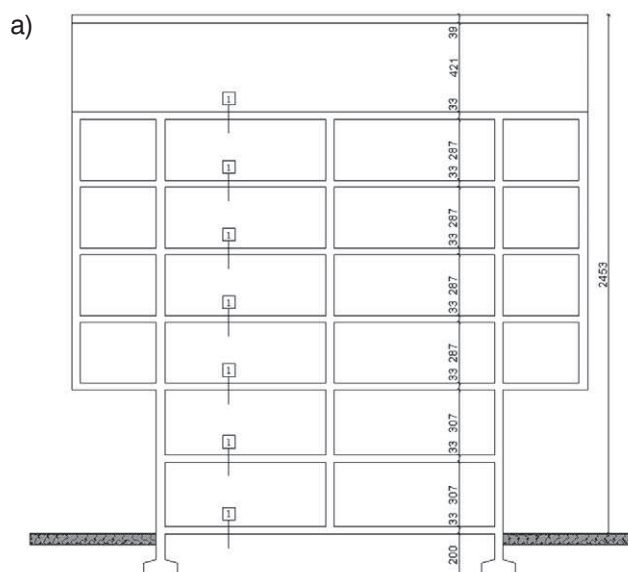
## 1. Wprowadzenie

Podczas projektowania elementów konstrukcyjnych oraz konstrukcji obiektów budowlanych wyodrębniamy poszczególne fazy projektowania konstrukcyjnego: opracowanie koncepcyjne rozwiązania konstrukcji na bazie wcześniejszej analizy funkcjonalnej, zebranie obciążeń, obliczenia statyczno-wytrzymałościowe, wymiarowanie konstrukcji z kontrolą stanów granicznych nośności (SGN) i użyteczności (SGU) oraz konstruowanie elementów wraz z detalami połączeń współdziałających elementów składowych. Zauważamy, że błędne wyznaczenie obciążeń powodujące oszacowanie wyężenia konstrukcji z nadmiarem lub niedomiarem dyskwalifikuje projekt już w jego początkowej fazie. W związku z wprowadzeniem norm Eurokod zmieniły się również wartości częściowych współczynników bezpieczeństwa dla poszczególnych składników obciążenia. Wprowadzono również zmiany w dotychczas obowiązujących Polskich Normach dotyczących oddziaływań wiatrem i śniegiem zwiększając odpowiednio współczynniki bezpieczeństwa. Kombinacje obciążeń, często pomijane lub bagatelizowane

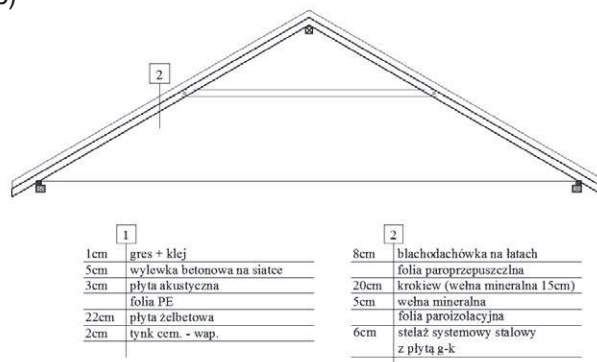
przez projektantów są zalecane zarówno w Polskich Normach jak i w Eurokodach. Zgodnie z zapisem zawartym w załączniku krajowym NB normy [1]: „zaleca się aby przy sprawdzaniu stanów granicznych STR i GEO przyjmować jako miarodajną kombinację oddziaływań mniej korzystne wyrażenie z podanych (6.10a) i (6.10b). **Wyrażenie (6.10) prowadzi z reguły do większego zużycia materiału**”, możliwe jest osiągnięcie zmniejszenia zużycia materiałów konstrukcyjnych, a tym samym zmniejszenie kosztów budowy. Przy czym wzory (6.10a) i (6.10b) uwzględniają zmniejszenie obciążeń poprzez zastosowanie współczynników dla wartości kombinacyjnej oddziaływania zmiennego. Wzory (6.10, (6.10a) i (6.10b) przedstawiono w dalszej części pracy oznaczone odpowiednio jako (2), (9) i (10). Stany STR i GEO są określone w pkt. 6.4.1 (b) i (c) normy [1]. Zasadnym zatem jest uwzględnianie kombinacji obciążeń wynikających z zapisów normy [1], umożliwiających bezpieczne, ale i ekonomiczne projektowanie.

## 2. Podstawowe parametry budynku

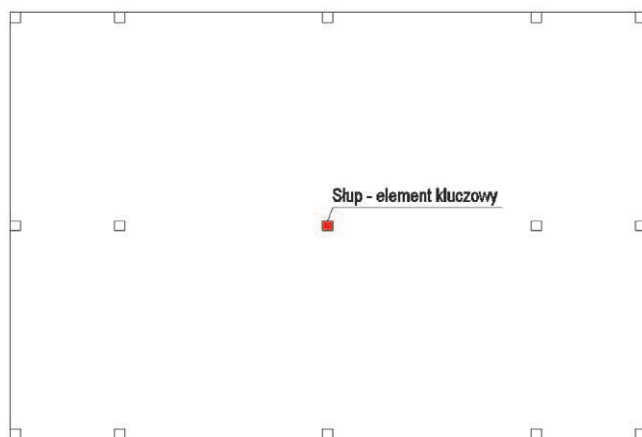
W celu skoncentrowania uwagi na wyznaczaniu miarodajnej kombinacji obciążeń, analizie poddano budynek referencyjny.



b)



**Rys. 1.** Schematyczny przekrój podłużny (a) i poprzeczny przez poddasze użytkowe (b) budynku referencyjnego



**Rys. 2.** Schematyczny układ stropu kondygnacji powtarzalnej

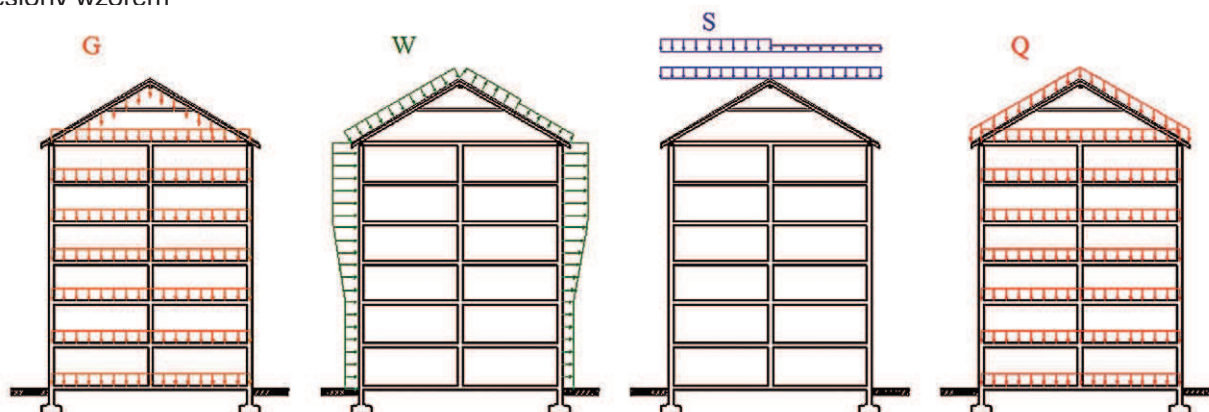
Na rysunku 1 przedstawiono schematyczny przekrój podłużny przez całą konstrukcję wielokondygnacyjnego budynku referencyjnego oraz schematyczny przekrój poprzeczny przez poddasze użytkowe. Założono, że kondygnacje 1-2 są kondygnacjami o przeznaczeniu usługowym, natomiast kondygnacje 3-7 o przeznaczeniu mieszkalnym.

Na rysunku 2 przedstawiono schematyczny układ stropu kondygnacji 3-6. Założono, że cała przestrzeń kondygnacji mieszkalnych oraz usługowych będzie poddana obciążeniom użytkowym dla odpowiedniej kategorii obciążenia (nie uwzględniono innej wartości obciążeń schodów). Założono, że wszystkie obciążenia w stanach granicznych nośności (SGN) odpowiadają obciążeniom w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej.

### 3. Wyznaczenie kombinacji obciążeń globalnych

Przedstawiono wyznaczenie kombinacji obciążeń dla Stanu Granicznego Nośności (SGN) dla oddziaływań globalnych (np. zbieramy obciążenia na słup najniższej kondygnacji).

Dla stanów granicznych STR/GEO zgodnie z zapisem normy [1] w punkcie 6.4.2 (3) spełnić należy warunek określony wzorem



**Rys. 3.** Schematyczne układy obciążenia zastosowane w kombinacjach I, II, III, IV

$$E_D \leq R_D \quad (1)$$

gdzie:

$E_D$  – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań, takiego jak siła wewnętrzna, moment lub wektor, reprezentujący kilka sił wewnętrznych lub momentów;

$R_D$  – wartość obliczeniowa odpowiedniej nośności. Podstawowym wzorem do wyznaczania kombinacji globalnej SGN jest wzór 6.10 normy [1]

$$E_D = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,j} Q_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \right\} \quad (2)$$

Na podstawie wzoru (2) dla globalnego oddziaływania obciążeń wyznaczyć możemy cztery podstawowe kombinacje obliczeniowe oznaczone jako (I), (II), (III) i (V) wg [1], [3], [4], [5].

Na rysunku 3 przedstawiono schematycznie obciążenia stałe  $G$ , użytkowe  $Q$ , wiatrem  $W$  i śniegiem  $S$ , zastosowane w kombinacjach I, II, III, IV dla budynku referencyjnego. W celu określenia tych kombinacji postępujemy zgodnie z zapisem normy [2] w punkcie 3.3.2. (2): „w przypadkach kiedy obciążenie użytkowe uważane jest jako oddziaływanie towarzyszące, zgodnie z EN 1990 [1], należy stosować tylko jeden z dwóch współczynników  $\psi$  (EN 1990, tablica A1.1) i  $\alpha_n$  (6.3.1.2 (11) [2]”. Przy czym pamiętać należy o tym, że odpowiednie powierzchnie budynku muszą być zakwalifikowane wg tabeli 1 zaczerpniętej z normy [1] w zakresie kategorii użytkowania obiektu budowlanego A-D, z pominięciem kategorii E.

#### Podstawowe kombinacje obliczeniowe

Na podstawie zależności (2) określamy następujące kombinacje obliczeniowe obciążeń globalnych.

- **Kombinacja pierwsza ( $I_{glob}$ ):** obciążenie stałe  $G$  + obciążenie wiatrem  $W$  jako wiodące + zredukowane zmienne obciążenia towarzyszące (śniegiem  $S$  i użytkowe  $Q$ )

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_W W_k + \psi_{0,S} \gamma_S S_k + \psi_{0,Q} \gamma_Q Q_k \quad (3)$$

**Tabela 1.** Kategorie użytkowania wg [2]

Kategoria	Specyficzne zastosowanie	Przykład
A	Powierzchnie mieszkalne	Pokoje w budynkach mieszkalnych i w domach, pokoje i sale w szpitalach, sypialnie w hotelach i na stacjach, kuchnie toalety
B	Powierzchnie biurowe	
C	Powierzchnie, na których mogą gromadzić się ludzie (z wyłączeniem powierzchni określonych wg kategorii A, B i D)	C1: Powierzchnie ze stołami itd., np. powierzchnie w szkołach, kawiarniach, restauracjach, stołówkach, czytelnich, recepcjach. C2: Powierzchnia z zamocowanymi siedzeniami, np. w kościołach, teatrach, kinach, salach konferencyjnych, salach wykładowych, salach zebrań, poczekalniach, poczekalniach dworcowych. C3: Powierzchnie bez przeszkód utrudniających poruszanie się ludzi, np. powierzchnie w muzeach, salach wystaw itd., oraz powierzchnie ogólne dostępne w budynkach publicznych i administracyjnych, hotelach, szpitalach, podjazdach kolejowych. C4: Powierzchnie, na których jest możliwa aktywność fizyczna np. sale tańców, sale gimnastyczne, sceny. C5: Powierzchnie ogólne dostępne dla tłumu, np. w budynkach użyteczności publicznej takich jak sale koncertowe, sale sportowe łącznie z trybunami, tarasy oraz powierzchnie dojazd i perony kolejowe.
D	Powierzchnie handlowe	D1: Powierzchnie w sklepach sprzedaży detalicznej. D2: Powierzchnie w domach towarowych.

lub dla więcej niż dwóch kondygnacji tej samej kategorii na podstawie pkt 3.3.2 (2) normy [2]

$$E_d = \gamma_G G_K + \gamma_W W_K + \psi_{0,s} \gamma_S S_K + \alpha_A \alpha_n \gamma_Q Q_K \quad (4)$$

• **Kombinacja druga (II<sub>glob</sub>):** obciążenie stałe G + obciążenie śniegiem S jako wiodące + zredukowane zmienne obciążenia towarzyszące (wiatrem W i użytkowe Q)

$$E_d = \gamma_G G_K + \gamma_S S_K + \psi_{0,w} \gamma_W W_K + \psi_{0,q} \gamma_Q Q_K \quad (5)$$

lub dla więcej niż dwóch kondygnacji tej samej kategorii na podstawie punktu 3.3.2 (2) normy [2]

$$E_d = \gamma_G G_K + \gamma_S S_K + \psi_{0,w} \gamma_W W_K + \alpha_A \alpha_n \gamma_Q Q_K \quad (6)$$

• **Kombinacja trzecia (III<sub>glob</sub>):** obciążenie stałe G + obciążenie użytkowe Q jako wiodące + zredukowane zmienne obciążenia towarzyszące (śniegiem S i wiatrem W)

$$E_d = \gamma_G G_K + \gamma_Q Q_K \alpha_A \alpha_n + \psi_{0,s} \gamma_S S_K + \psi_{0,w} \gamma_W W_K \quad (7)$$

• **Kombinacja czwarta (IV<sub>glob</sub>):** minimalne obciążenie stałe G + maksymalne obciążenie wiatrem W

$$E_d = G_K + \gamma_W W_K \quad (8)$$

Odpowiednie oznaczenia we wzorach (2) – (8) są następujące:

- $G_K$  – charakterystyczne obciążenie stałe,
- $P_K$  – charakterystyczne obciążenie sprężające (w prezentowanym przykładzie obliczeniowym nie występują i zostały we wzorach (3) – (8) pominięte),
- $Q_K$  – charakterystyczne oddziaływania zmienne,
- $W_K$  – charakterystyczne oddziaływania wiatrem,
- $S_K$  – charakterystyczne obciążenie śniegiem,
- $\gamma_G$  – współczynnik częściowy obciążenia stałego równy 1,35,

**Tabela 2.** Zalecane wartości współczynników  $\psi$  dla budynków wg [1]

Oddziaływania	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Obciążenia zmienne w budynkach, kategoria (patrz EN 1991-1-1)			
Kategoria A: powierzchnie mieszkalne	0,7	0,5	0,3
Kategoria B: powierzchnie biurowe	0,7	0,5	0,3
Kategoria C: miejsca zebrań	0,7	0,7	0,6
Kategoria D: powierzchnie handlowe	0,7	0,7	0,6
Kategoria E: powierzchnie magazynowe	1,0	0,9	0,8
Kategoria F: powierzchnie ruchu pojazdów, pojazdy $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Kategoria G: powierzchnie ruchu pojazdów, $30$ kN < pojazdy $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Kategoria H: dachy	0	0	0
Obciążenia budynków śniegiem (patrz EN 1991-1-1)			
Finlandia, Islandia, Norwegia, Szwecja	0,7	0,5	0,2
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H > 1000$ m ponad poziom morza	0,7	0,5	0,2
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H > 1000$ m ponad poziom morza	0,5	0,2	0,2
Obciążenie wiatrem (patrz EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (nie pożarowa) w budynku (patrz EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

$\gamma_{S,WQ}$  – współczynniki częściowe obciążeń zmiennych równe 1,5,

$\Psi_{0,i}$  – współczynnik dla wartości kombinacyjnej zmiennej oddziaływania towarzyszącego wyznaczony na podstawie tabeli 2 zaczerpniętej z normy [1],

$\alpha_A$  – współczynnik redukcji obciążeń zmiennych stropów na podstawie wzoru 6.1 normy [2], dla obciążeń jednej kategorii:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \Psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \quad (9)$$

$A_0 = 10 \text{ m}^2$  – powierzchnia porównawcza

$A$  – powierzchnia stropu podpierana przez jeden element konstrukcyjny (słup),

$\alpha_n$  – współczynnik redukcji obciążeń zmiennych słupów i ścian na podstawie wzoru 6.2 normy [2], ale (UWAGA) stosowany tylko dla budynków, w których występuje więcej niż dwie kondygnacje o tym samym przeznaczeniu:

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2)\Psi_0}{n} \quad (10)$$

$n$  – liczba kondygnacji jednej kategorii powierzchni.

#### 4. Wyznaczenie kombinacji obciążeń lokalnych

Przedstawiono wyznaczenie kombinacji obciążeń dla Stanu Granicznego Nośności (SGN) dla obciążeń lokalnych. Wyznaczamy kombinacje oddziaływań na słup najniższej kondygnacji, pochodzących od konstrukcji znajdującej się nad słupem.

**Tabela 3.** Wartości obliczeniowe oddziaływań (STR/GEO) (zestaw B) wg [1]

Trwałe i przejściowe sytuacje obliczeniowe	Oddziaływania stałe		Wiodące oddziaływania zmienne	Towarzyszące oddziaływania zmienne (*)	
	niekorzystne	korzystne		Główne (jeżeli takie występują)	pozostałe
Wzór 6.10a	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$		$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$
Wzór 6.10b	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$

(\*) Oddziaływaniami zmiennymi są te, które uwzględniono w tabeli 2

UWAGA 1 Wybór 6.10 lub 6.10 a i 6.10b podany zostanie w załączniku krajowym. W przypadku 6.10a i 6.10b załącznik krajowy może zmienić dodatkowo 6.10a, wprowadzając tylko oddziaływania stałe.

UWAGA 2 Wartości  $\gamma$  i  $\xi$  mogą być podane w załączniku krajowym. Zalecane wartości  $\gamma$  i  $\xi$  do zastosowania w wyrażeniach 6.10 lub 6.10a i 6.10b podano niżej:

$$\begin{aligned} \gamma_{Gj,sup} &= 1,35 \\ \gamma_{Gj,inf} &= 1,0 \\ \gamma_{Q,1} &= 1,5 \text{ jeżeli niekorzystne (0 jeżeli korzystne)} \\ \gamma_{Q,i} &= 1,5 \text{ jeżeli niekorzystne (0 jeżeli korzystne)} \\ \xi &= 0,85 \text{ (tak aby } \xi \gamma_{Gj,sup} = 0,85 \cdot 1,35 = 1,15) \end{aligned}$$

Patrz także EN 1991 do EN 1999 w sprawie wartości  $\gamma$  dla odkształceń wymuszonych.

UWAGA 3 Wartości charakterystyczne wszystkich oddziaływań stałych, pochodzących z jednego źródła, mnoży się przez  $\gamma_{Gj,sup}$  jeżeli cały wynikający stąd efekt jest niekorzystny, przez  $\gamma_{Gj,inf}$  kiedy efekt ten jest korzystny. Np. wszystkie oddziaływania pochodzące od ciężaru własnego konstrukcji można uważać za pochodzące z jednego źródła; dotyczy to również przypadku, kiedy materiały są różne.

UWAGA 4 W przypadku specyficznych sprawdzeń wartości  $\gamma_G$  i  $\gamma_Q$  można podzielić na  $\gamma_G$  i  $\gamma_Q$  i współczynnik  $\gamma_{Sd}$  uwzględniający niepewność modelu. Wartości  $\gamma_{Sd}$  mieszczą się najczęściej w przedziale od 1,05 do 1,15 i mogą być różnicowane w załączniku krajowym.

W przypadku obciążeń lokalnych, tak jak dla obciążeń globalnych, musi zostać spełniony warunek określony formułą (1). Do wyznaczenia kombinacji posłużymy się wzorami 6.10a (11) i 6.10b (12) normy [1] zapisanymi następująco:

$$E_D = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{0,i} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \right\} \quad (11)$$

$$E_D = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{0,i} \gamma_{Q,i} Q_{k,i} \right\} \quad (12)$$

Na podstawie tabeli 3 zaczerpniętej z normy [1] zauważamy, że współczynniki stosowane przy obciążeniu stałym, mogą przyjmować dwie wartości określone jako *suo* i *inf* odpowiednio dla zestawu oddziaływań (STR/GEO) czyli dla tzw. zestawu B:

– w przypadku kiedy obciążenie stałe działa niekorzystnie współczynnik przyjmuje wartość

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$$

– w przypadku kiedy obciążenie stałe działa korzystnie współczynnik przyjmuje wartość

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

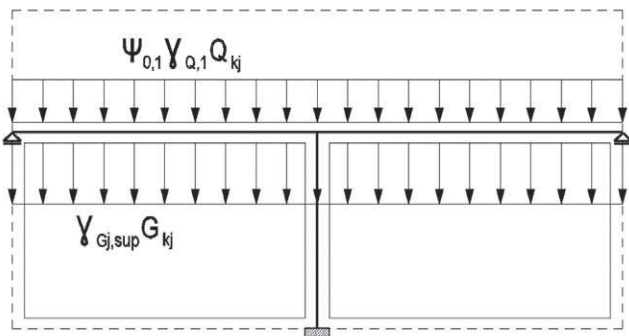
Pozostałe zestawy oddziaływań, czyli zestaw A stosuje się do sprawdzania równowagi statycznej konstrukcji budynku (EQU), a zestaw C – do elementów konstrukcji uwzględniających oddziaływania geotechniczne i nośność gruntu (STR/GEO), określone są również w [1].

Przy czym dla elementów konstrukcji uwzględniających oddziaływania geotechniczne i nośność gruntu wartości oddziaływań zaleca się stosować jedno z trzech podejść określonych w punkcie A1.3.1 normy [1].

Na podstawie wzorów (11) i (12) wyznaczamy następujące kombinacje obciążeń lokalnych:

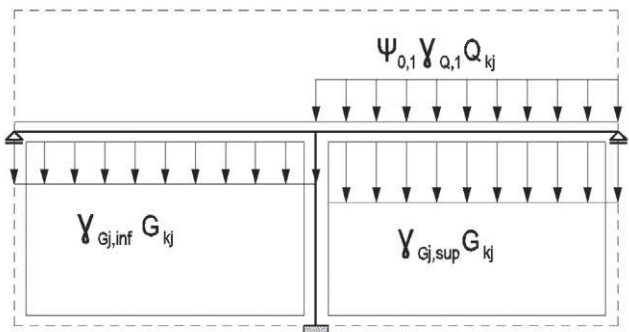
- **Kombinacja pierwsza (I<sub>lok</sub>):** obciążenie stałe maksymalne G + zredukowane obciążenie zmienne wiodące + zredukowane zmienne obciążenie towarzyszące

$$E_d = \gamma_{G,sup} G_K + \psi_{0,1} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \psi_{0,i} \gamma_i Q_i \quad (13)$$



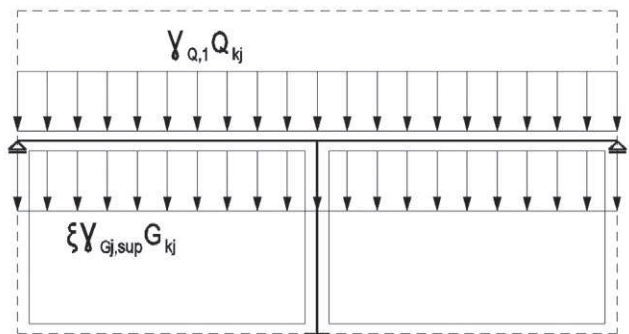
- **Kombinacja druga (II<sub>lok</sub>):** obciążenie stałe minimalne G + zredukowane obciążenie zmienne wiodące + zredukowane zmienne obciążenie towarzyszące

$$E_d = \gamma_{G,sup} G_K + \gamma_{G,inf} G_K + \psi_{0,1} \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \psi_{0,i} \gamma_i Q_i \quad (14)$$



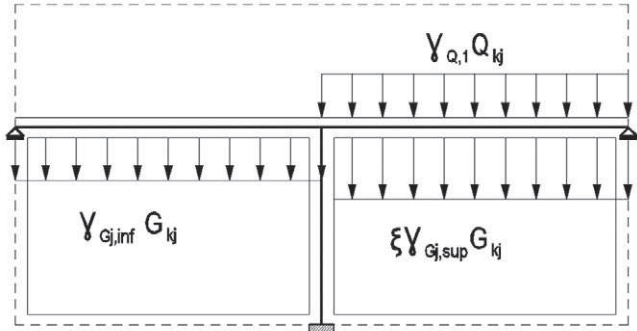
- **Kombinacja trzecia (III<sub>lok</sub>):** obciążenie stałe maksymalne G + obciążenie zmienne wiodące + zredukowane zmienne obciążenie towarzyszące

$$E_d = \xi \gamma_{G,sup} G_K + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \psi_{0,i} \gamma_i Q_i \quad (15)$$



- **Kombinacja czwarta (IV<sub>lok</sub>):** obciążenie stałe minimalne G + obciążenie zmienne wiodące + zredukowane zmienne obciążenie towarzyszące

$$E_d = \gamma_{G,inf} G_K + \xi \gamma_{G,sup} G_K + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \psi_{0,i} \gamma_i Q_i \quad (16)$$



Współczynniki przyjmują odpowiednie wartości:

$$\gamma_{G,inf} = 1,0 \quad \gamma_{G,sup} = 1,0$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,0 \quad \xi = 0,85$$

$\psi_{0,1}$  – dla kategorii powierzchni magazynowych równe 1,0, a dla pozostałych kategorii powierzchni 0,7 wg tabeli 2.

Obciążenie od wyższych kondygnacji możemy uwzględnić poprzez zastosowanie odpowiedniej siły podłużnej działającej wzdłuż osi słupa.

## 5. Wyznaczenie kombinacji obciążeń dla stanu granicznego użyteczności

Wyznaczenie wartości oddziaływań dla kombinacji SGU określa się w tzw. quasi-stałej (prawie stałej) sytuacji obliczeniowej. Kombinacja ta używana jest głównie w celu oceny deformacyjnych efektów długotrwałych i wyglądu konstrukcji (tj. zarysowania i ugięcia) wg wzoru 6.16b normy [1]:

$$E_D = E \{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \} \quad (17)$$

W rozważaniach stanu granicznego użyteczności uwzględniamy kombinację obciążeń  $E_{QS}$ :

$$E_{QS} = G_K + \psi_{2,S} S_K + \psi_{2,W} W_K + \psi_{2,Q} Q_K \quad (18)$$

gdzie:

$\psi_{2,SWQ}$  – odpowiednio współczynniki dla wartości prawie stałej oddziaływania zmiennego, wyznaczony na podstawie tabeli 2.

## 6. Wyznaczenie wartości współczynników kombinacji globalnych obciążenia na słup najniższej kondygnacji

Na podstawie kombinacji obciążeń określonych zależnościami (4), (6), (7), (8) przedstawiono przykład obliczeniowy bazując na przyjętych wartościach liczbowych współczynników zgodnych z normami [1] i [2]. Wyznaczenie wartości współczynników  $\alpha_A$  i  $\alpha_n$  przedstawiono według (9) i (10)

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0 \rightarrow \text{dla kategorii powierzchni C i D: } \alpha_A \geq 0,6 \text{ wg [2]}$$

Wartość współczynnika  $\alpha_A$  wyznaczono osobno dla kondygnacji usługowych i kondygnacji mieszkalnych:  
– dla kondygnacji usługowych:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{8 \cdot 8} = 0,656 \rightarrow \text{dla kategorii powierzchni C i D}$$

– dla kondygnacji mieszkalnych:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{8 \cdot 8} = 0,656$$

Należy również zauważyć, że współczynnik  $\alpha_A$  wg zmiany do normy [2] nie może być stosowany dla kategorii E (powierzchnie składowania i użytkowania przemysłowego).

Wartość współczynnika  $\alpha_n$  wyznaczono dla kondygnacji usługowych i kondygnacji mieszkalnych

$$\alpha_n = \frac{2 + (n - 2)\psi_0}{n} = \frac{2 + (5 - 2) \cdot 0,7}{5} = 0,82$$

gdzie:

$n$  – liczba kondygnacji jednej kategorii

$\psi_0$  – dla powierzchni mieszkalnych i usługowych równy 0,7

$Q_{KU}$  – obciążenie użytkowe na kondygnacji powierzchni usługowych

$Q_{Km}$  – obciążenie użytkowe na kondygnacji powierzchni mieszkalnych

**UWAGA:** Współczynnik  $\alpha_n$  przyjmuje różne wartości na różnych kondygnacjach, tj. 1-2, i 3-7 o różnym przeznaczeniu (kategorii powierzchni) stropu. Ponieważ współczynnik  $\alpha_n$  możemy stosować w przypadku występowania więcej niż dwóch kondygnacji o tym samym przeznaczeniu, stąd dla kondygnacji 1-2 nie możemy go zastosować, a w jego miejsce stosujemy współczynnik  $\psi_0$ .

Biorąc pod uwagę ustalenia dotyczące odpowiednich współczynników otrzymujemy następujące zestawienia obciążeń dla poszczególnych kombinacji obciążeń globalnych.

• **Kombinacja pierwsza (I<sub>glob</sub>) wg (4):**

$$E_d = 1,35 \cdot G_K + 1,5 \cdot W_K + 0,5 \cdot 1,5 \cdot S_K + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,656 \cdot Q_{KU} + 0,82 \cdot 1,5 \cdot 0,656 \cdot Q_{Km}$$

$$E_d = 1,35 \cdot G_K + 1,5 \cdot W_K + 0,75 \cdot S_K + 0,69 \cdot Q_{KU} + 0,8 \cdot Q_{Km}$$

• **Kombinacja druga (II<sub>glob</sub>) wg (6):**

$$E_d = 1,35 \cdot G_K + 1,5 \cdot S_K + 0,6 \cdot 1,5 \cdot W_K + 0,7 \cdot 1,5 \cdot 0,656 \cdot Q_{KU} + 0,82 \cdot 1,5 \cdot 0,656 \cdot Q_{Km}$$

$$E_d = 1,35 \cdot G_K + 1,5 \cdot S_K + 0,9 \cdot W_K + 0,69 \cdot Q_{KU} + 0,8 \cdot Q_{Km}$$

• **Kombinacja trzecia (III<sub>glob</sub>) wg (7):**

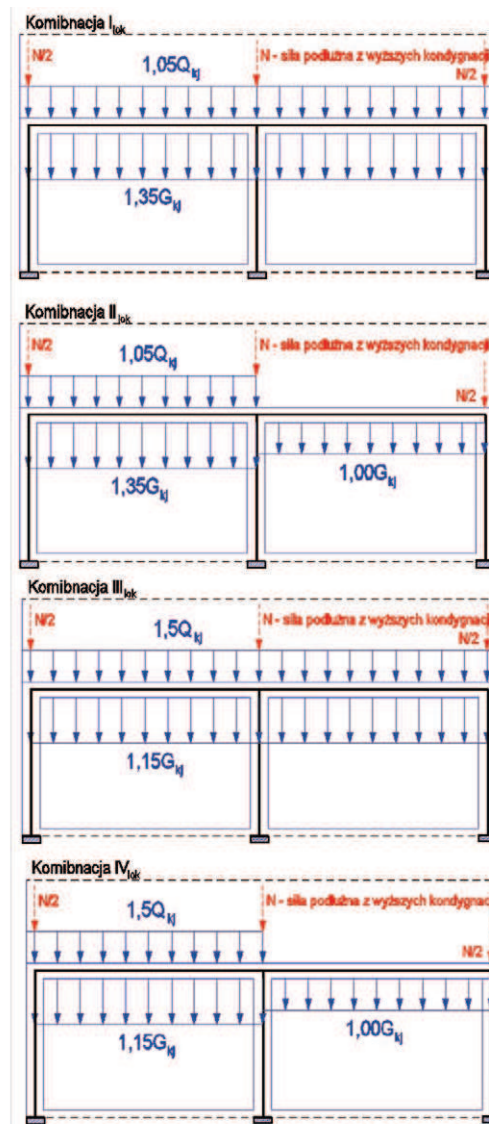
$$E_d = 1,35 \cdot G_K + 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,656 \cdot Q_{KU} + 1,5 \cdot 0,82 \cdot 0,656 \cdot Q_{Km} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot S_K + 1,5 \cdot 0,6 \cdot W_K$$

• **Kombinacja czwarta (IV<sub>glob</sub>) wg (8):**

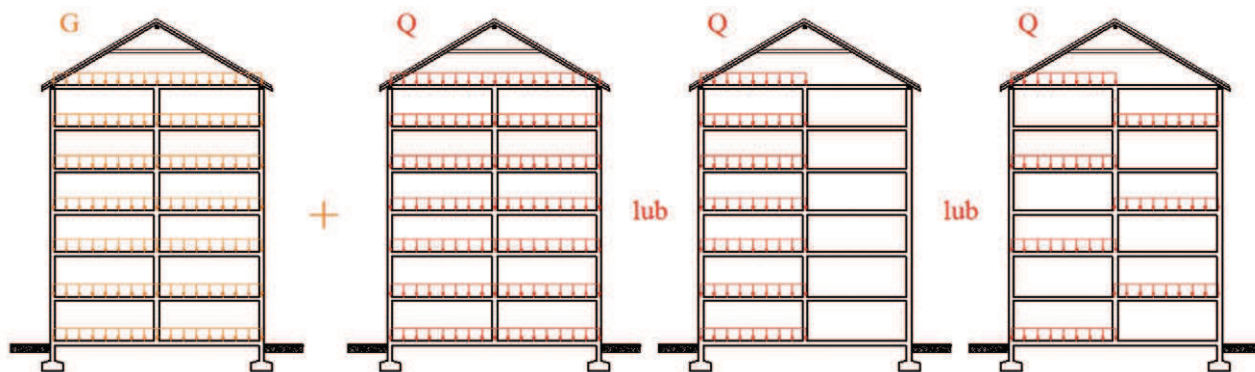
$$E_d = G_K + 1,5 \cdot W_K$$

## 7. Wyznaczenie wartości współczynników kombinacji lokalnych obciążenia na słup najniższej kondygnacji

Na rysunku 4 przedstawiono zestawienie schematów statycznych dla kombinacji lokalnych służących do wyznaczenia wartości  $M_{max}$  w elemencie kluczowym (słupie) dla zestawu obciążeń B.



**Rys. 4.** Schematyczne układy obciążenia zastosowane do wyznaczenia wartości maksymalnych momentu  $M_{max}$  w słupie



**Rys. 5.** Schematyczne układy obciążenia zastosowane do wyznaczenia wartości momentów maksymalnych w poszczególnych elementach konstrukcyjnych

Na rysunku 5 przedstawiono dokładniejsze sposoby wyznaczenia maksymalnych wartości momentów zginających określonych na rysunku 4, w których również należy zastosować ww. kombinacje obciążeń lokalnych.

### 8. Wyznaczenie wartości współczynników kombinacyjnych na słup najniższej kondygnacji dla SGU

Na podstawie kombinacji obciążeń określonych zależnościami (17) i (18) przedstawiono przykład obliczeniowy bazując na przyjętych wartościach liczbowych współczynników zgodnych z normami [1] i [2].

$$E_d = G_K + 0,2 \cdot S_K + 0 \cdot W_K + 0,6 \cdot Q_{Ku} + 0,3 \cdot Q_{Km} \text{ – wg [1]}$$

$$E_d = G_K + 0,0 \cdot S_K + 0 \cdot W_K + 0,6 \cdot Q_{Ku} + 0,3 \cdot Q_{Km} \text{ – wg [1]}$$

z uwzględnieniem  $A_p1$  [6]

gdzie: wartości współczynników zależności (18) wg tabeli 2, przy uwzględnieniu późniejszych zmian do treści zasadniczej normy wg [6].  
Należy zwrócić szczególną uwagę na zmiany w załączniku  $A_p1$  [6] na podstawie której przyjmujemy wartość współczynnika  $\Psi_{2,s} = 0$  podczas gdy zgodnie z poprzednim zapisem, normy wartość ta wynosiła  $\Psi_{2,s} = 0,2$ .

### 9. Analiza wyników

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla kombinacji globalnych przedstawiono zestawienie wyników w formie zamieszczonej w tabeli 4.

W przypadku rozważania kombinacji lokalnych duże znaczenie dla wyników sił wewnętrznych ma geometria danego elementu konstrukcyjnych. Natomiast zauważyć możemy, że w przypadku zastosowania kombinacji  $I_{lok}$  i  $II_{lok}$  w porównaniu do kombinacji lokalnych  $III_{lok}$  i  $IV_{lok}$  uzyskujemy zmniejszenie wartości współczynnika obciążenia zmiennego o 30%, przy równoczesnym zwiększeniu wartości współczynnika obciążenia stałego o ok. 17%.

Zauważamy, że w przypadku zależności (3), (4), (5), (6) wypadkowe wartości współczynników dla obciążeń

**Tabela. 4.** Wypadkowe wartości współczynników wg poszczególnych kombinacji

		Wypadkowa wartość współczynników				
		$G_K$	$W_K$	$S_K$	$Q_{Ku}$	$Q_{Km}$
Kombinacja wg zależności	3	1,35	1,5	0,75	0,7	0,7
	4	1,35	1,5	0,75	0,69	0,8
	5	1,35	0,9	1,5	0,7	0,7
	6	1,35	0,9	1,5	0,69	0,8
	7	1,35	0,9	0,75	0,98	0,8
	8	1,35	1,5	0	0	0

użytkowych kondygnacji usługowych 1-2 osiągają prawie identyczne wartości. Natomiast w przypadku kondygnacji mieszkalnych 3-7 różnica osiąga ok. 15%.

Na podstawie przeprowadzonej analizy kombinacji obciążeń stwierdzono, że dla kluczowego elementu konstrukcyjnego nośnego budynku wielokondygnacyjnego (słupa najniższej kondygnacji) należy wyznaczać następujące zestawy miarodajnych sił wewnętrznych:

A. maksymalne wartości sił podłużnych określone na podstawie wartości obciążeń dla kombinacji globalnych i odpowiadające im wartości momentów zginających

$$(N_{max}, M)_{glob}$$

B. maksymalne wartości momentów zginających na określone podstawie wartości obciążeń dla kombinacji lokalnych i odpowiadające im wartości sił podłużnych

$$(M_{max}, N)_{lok}$$

### 10. Podsumowanie

Prezentowany sposób postępowania przy wyznaczaniu dopuszczalnych, ale i bezpiecznych kombinacji obciążeń umożliwi optymalizację oszacowania wyłączenia i w konsekwencji zużycia materiałów konstrukcyjnych,

czyli kosztów inwestycji. Na podstawie licznych przykładów projektowych stwierdzono również, że najbardziej miarodajną wartością kombinacji dla budynków wielokondygnacyjnych jest kombinacja globalna wg zależności (7), ponieważ obciążenia użytkowe wraz z obciążeniami stałymi mają największy wpływ na wyężenie konstrukcji. Natomiast kombinacja globalna wg zależności (8) służy głównie do skontrolowania stanu granicznego GEO, czyli sprawdzenie, czy nie nastąpi zniszczenie lub nadmierne odkształcenie podłoża. Do wyznaczenia wartości w stanach granicznych SGU służy natomiast zależność (17), która jest stosowana zarówno dla kombinacji globalnych, jak i kombinacji lokalnych. Ponadto stosowanie kombinacji lokalnych umożliwi również wyznaczenie maksymalnych wartości momentów zginających, które mają istotny wpływ dla końcowych wyników obliczeń, ponieważ nośność wyznaczona dla wartości kombinacji globalnych może nie spełniać warunków stanu granicznego nośności dla sił wewnętrznych uzyskanych dla kombinacji obciążeń lokalnych.

Należy również zwrócić szczególną uwagę na stosowanie załączników krajowych do norm zmieniających postanowienia zasadniczej treści normy oraz następnich aktualizacji w postaci zmian oraz poprawek, np. [6], **które często są niezauważane w dostępnej literaturze (i przez projektantów)**, a których uaktualnione zapisy i regulacje mają istotny wpływ na wyniki sił

wewnętrznych oraz interpretację poszczególnych zapisów normy podstawowej.

W istniejącej literaturze dostępne jest śledzenie takiego postępowania [3], [4], [5]. W niniejszej pracy przedstawiono metodykę postępowania przy wyznaczaniu kombinacji obciążeń zgodnych z [1], [2], które pozwalają na zmniejszenie zużycia materiałów konstrukcyjnych, przy zwróceniu uwagi na stosowanie współczynników zmniejszających obciążenia oraz uwzględniających zmiany zasadniczych treści normy.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] PN-EN 1990:2004 Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, październik 2004
- [2] PN-EN 1991-1-1:2004. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa 2004
- [3] Biegus A., Eurokody. Projektowanie konstrukcji budowlanych według eurokodów. Zeszyt 1. Część 1. Podstawy projektowania konstrukcji. PWB Media. Warszawa 2011
- [4] Biegus A., Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje budowlane. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2014
- [5] Rawska-Skotniczny A., Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według eurokodów. Wydawnictwo naukowe PWN. Warszawa 2013
- [6] PN-EN 1990:2004/Ap1:2004 Poprawka do Polskiej Normy. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, grudzień 2004

## Takie wydarzenie w Polsce raz na 10 lat!

### 79 Konferencja EUROCONSTRUCT – Warszawa – czerwiec 2015

największa europejska konferencja budowlana w Polsce organizowana w 40 lecie istnienia tego europejskiego stowarzyszenia.

79 jubileuszowa Konferencja Euroconstruct odbędzie się w Warszawie w dniach 11-12 czerwca 2015. Zajmie się ona omówieniem perspektyw rozwoju budownictwa europejskiego do 2017 roku – zmian warunków politycznych, prawnych i finansowych w Europie i ich wpływu na rynki budowlane w ujęciu geograficznym i segmentowym.

Konferencje Euroconstruct dostarczają uczestnikom rynku budowlanego informacje statystyczne, ogólne i specjalistyczne oceny dotyczące rozwoju europejskiego przemysłu budowlanego niezbędnych do tworzenia polityki rozwojowych firm i podejmowania decyzji gospodarczych. Diagnozy i prognozy Euroconstruct opierają się na głębokiej znajomości krajowych rynków budowlanych przez instytuty – członków organizacji.

Konferencje Euroconstructu gromadzą uczestników z całej Europy i spoza niej, w tym liderów światowego budownictwa w zakresie produkcji materiałów, sprzętu budowlanego, firm wykonawczych i finansistów. Uczestnictwo w 79 Konferencji EUROCONSTRUCT daje niepowtarzalną

szansę poznania najnowszych tendencji rozwoju budownictwa w trudnym momencie – stagnacji i niepewności na europejskim rynku nieruchomości oraz ich skutków dla rozwoju budownictwa do 2017 roku.

W konferencjach Euroconstruct uczestniczą przedstawiciele wszystkich wiodących przedsiębiorstw europejskiego i światowego sektora budowlanego, a raporty z konferencji trafiają do około 1000 najważniejszych graczy globalnego rynku.

79 Konferencja EUROCONSTRUCT tworzy dla Polskich firm wyborną okazję, aby zaprezentować, umocnić i ugruntować prestiż firmy lub wyrobów na największym i najbardziej opiniotwórczym nie tylko europejskim, ale globalnym forum budowlanym.

Rejestracja na konferencję:

[www.euroconstruct.pl/pl/registration/](http://www.euroconstruct.pl/pl/registration/)

Kontakt: PAB-PCR&F Institute; tel: +48 602 791 976

Wspólna 37/39 24, 00-519 Warszawa

[79thconference@euroconstruct.pl](mailto:79thconference@euroconstruct.pl)