

PODSTAWY PROJEKTOWANIE I ODDZIAŁYWANIA NA KONSTRUKCJE

ĆWICZENIA

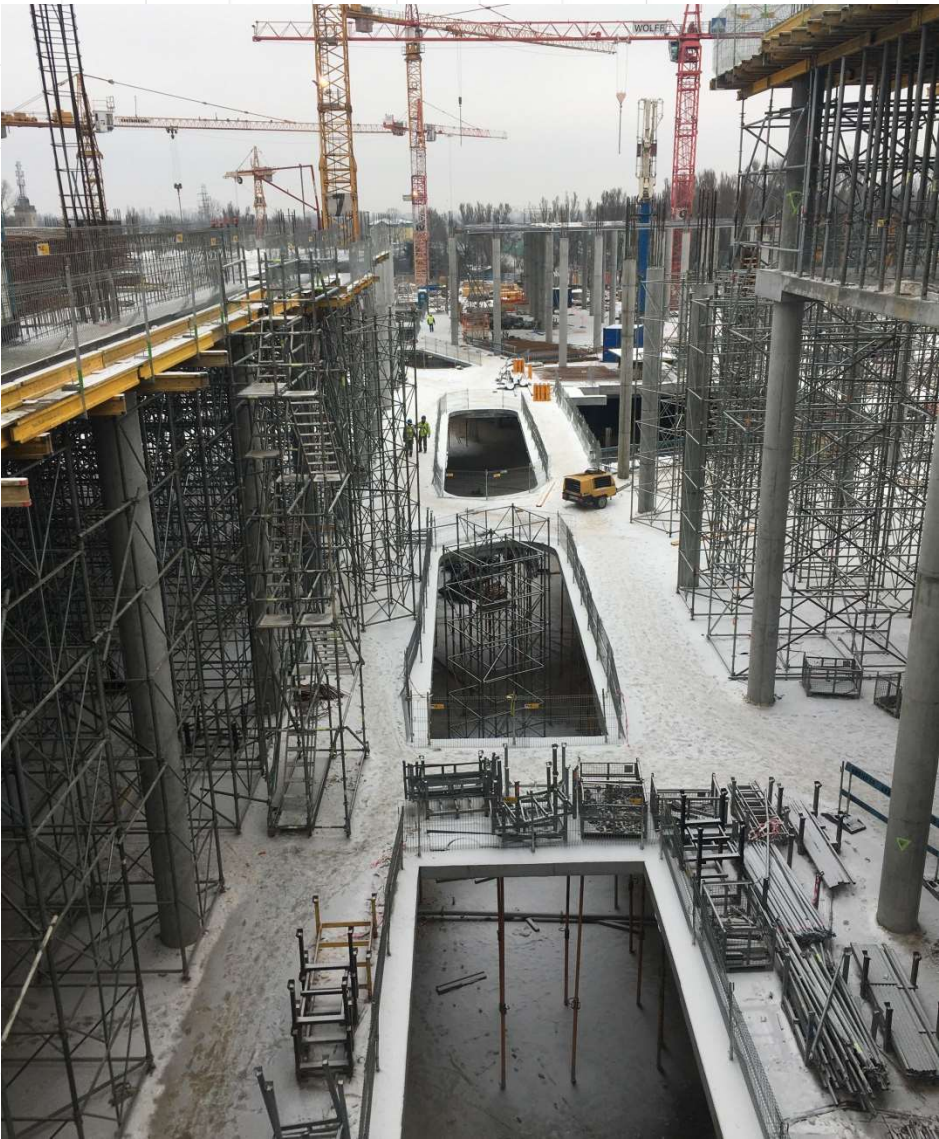
5. Kombinacje oddziaływań

dr inż. Paweł Niewiadomski

pawel.niewiadomski@pwr.edu.pl

bud. C-7, pok. 701

<https://wbliw.pwr.edu.pl/pracownicy/pawel-niewiadomski>

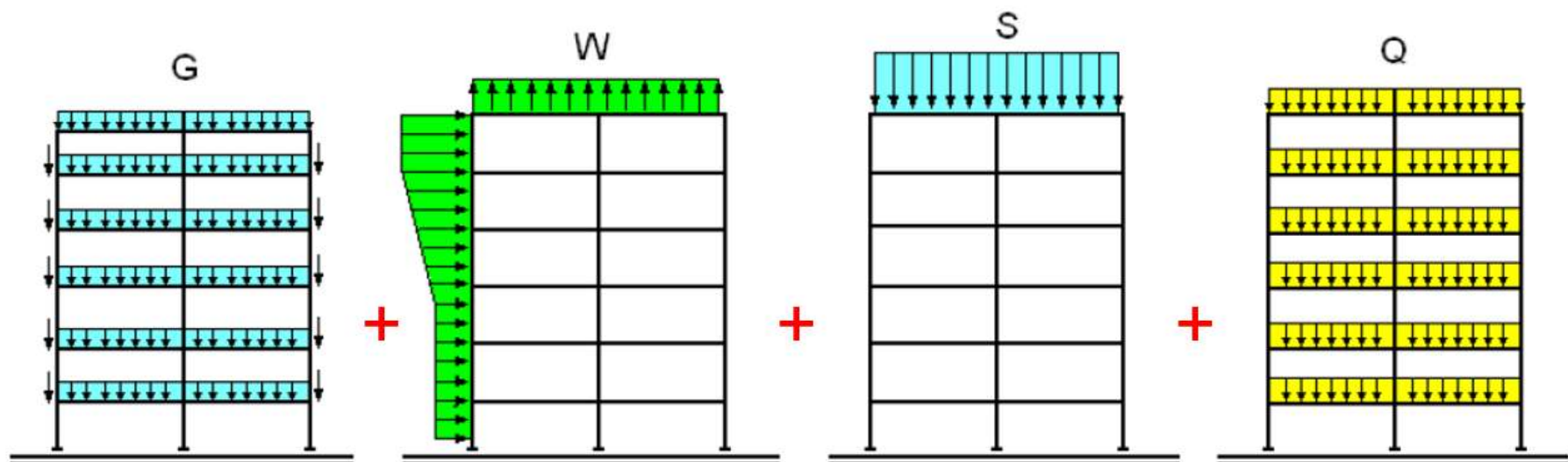


HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

Kombinacje oddziaływań



PN-EN 1990



POLSKA NORMA

ICS 91.010.30; 91.080.01

PN-EN 1990

październik 2004

Wprowadza
EN 1990:2002, IDT

Zastępuje
-

**Eurokod
Podstawy projektowania konstrukcji**

Norma europejska EN 1990:2002 ma status Polskiej Normy

© Copyright by PKN, Warszawa 2004

nr ref. PN-EN 1990:2004

Hologram
PKN

Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Żadna część niniejszej normy nie może być zwielokrotniana jakkolwiek techniką bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego



Projektowy okres użytkowania

Tablica 2.1 – Orientacyjne projektowe okresy użytkowania

Kategoria projektowego okresu użytkowania	Orientacyjny projektowy okres użytkowania (lata)	Przykłady
1	10	Konstrukcje tymczasowe ⁽¹⁾
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

⁽¹⁾ Zaleca się, aby konstrukcje lub części konstrukcji, które mogą być demontowane w celu ponownego zmontowania, nie uważać za konstrukcje tymczasowe

Stany graniczne

Rozróżnia się stan graniczny:

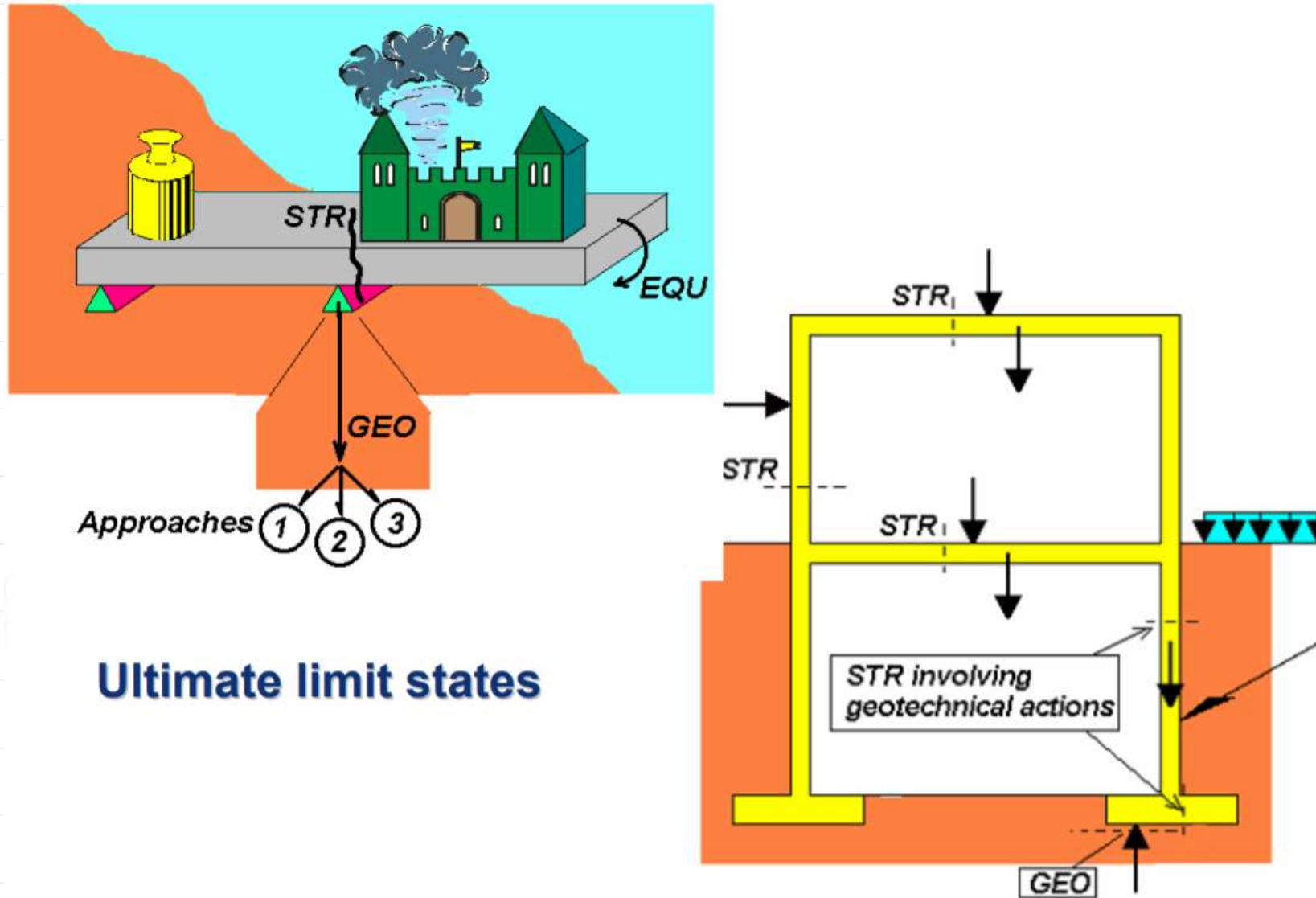
- SGN (ULS – *ultimate limit states*) – nośności, związany z katastrofą lub inną formą zniszczenia konstrukcji nośnej; jest to tzw. I stan graniczny,
- SGU (SLS - *serviceability limit states*) – użytkowości, po przekroczeniu, którego konstrukcja przestaje spełniać stawiane jej wymagania użytkowe, np.: deformacje, drgania; jest to tzw. II stan graniczny.

Stany graniczne nośności

Należy sprawdzić następujące stany graniczne ULS oraz formy zniszczenia:

- ULS – EQU – utrata równowagi konstrukcji lub jakiegokolwiek jej części, uważanej za ciało sztywne (np. przewrócenie),
- ULS – STR – zniszczenie na skutek nadmiernego odkształcenia, przekształcenia się w mechanizm, zniszczenia materiałowego, utratę stateczności konstrukcji lub jej części, łącznie z podporami i fundamentami,
- ULS – GEO – zniszczenie lub nadmierne deformacje podłoża,
- ULS – FAT – zniszczenie zmęczeniowe.

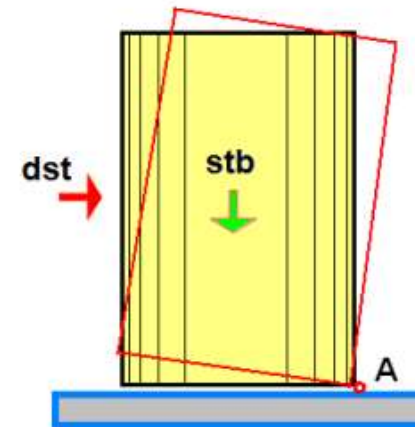
Stany graniczne nośności



ULS – EQU

Przykład schematu sprawdzania utraty równowagi konstrukcji ULS – EQU („na wywrócenie”) pokazano na rys.10.

Rys. 10. Schemat sprawdzania utraty równowagi konstrukcji „na wywrócenie”

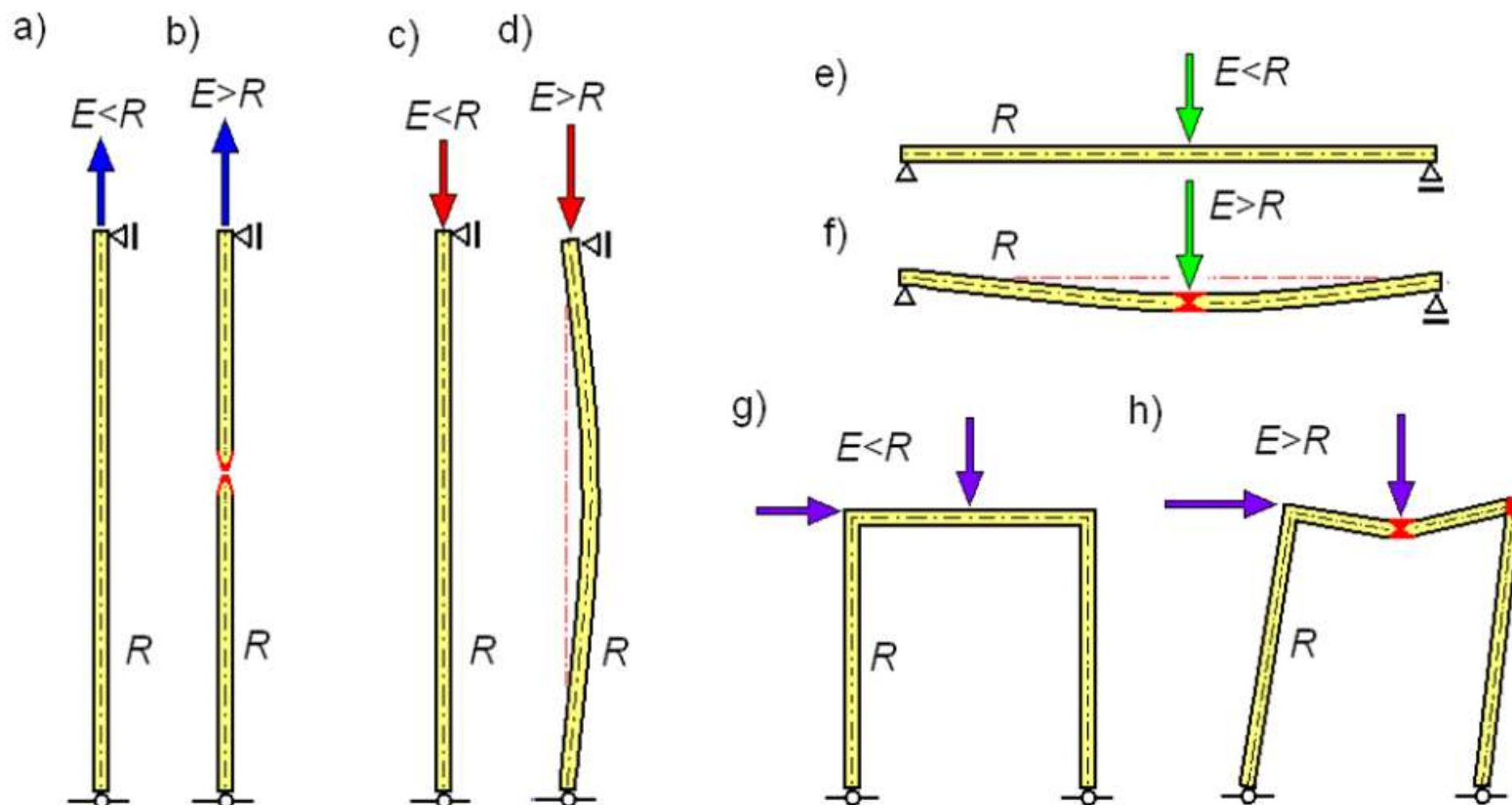


Jako miarodajne w ocenie stanu granicznego nośności ULS – EQU jest sprawdzenie warunku równowagi konstrukcji „na wywrócenie”:

$$E_{d,dest} \leq E_{d,stb} , \quad (8)$$

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

ULS – STR



Rys. 11. Przykłady wyczerpania stanu granicznego nośności prętów: rozciąganego (b), ściskanego (d), zginanego (f) oraz ramy (h)

ULS – STR i ULS – GEO

W przypadku oceny stanów granicznych ULS – STR oraz ULS – GEO kryteria nośności mają następującą postać:

$$E_d(F_d) \leq R_d, \quad (9)$$

gdzie:

$E_d(F_d)$ – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań tj. sił wewnętrznych w konstrukcji (np. M_{Ed} , N_{Ed} , V_{Ed}) obliczonych dla obciążeń obliczeniowych F_d ,

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

Ocenę bezpieczeństwa konstrukcji (8) oblicza się jako stopień wyłączenia (wykorzystania) nośności jej przekrojów lub elementów ze wzoru:

$$\frac{E_d}{R_d} \leq 1. \quad (10)$$

ULS – FAT

Stan graniczny nośności zniszczenia zmęczeniowego ULS – FAT sprawdza się analizując wytężanie materiału ($\Delta\sigma$, $\Delta\tau$) w punkcie:

$$\Delta\sigma_E \leq \Delta\sigma_R, \quad \Delta\tau_E \leq \Delta\tau_R. \quad (11)$$

Stany graniczne użytkowości

W ocenie stanu granicznego użytkowości należy analizować kryteria:

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

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

$$E_{k,ser}(F_k) \leq C_d, \quad (12)$$

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 użytkowości.

Rodzaje oddziaływań

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 itp.

Wartości obliczeniowe obciążeń

Wartości obliczeniowe obciążeń F_d uwzględniają wymienione różnice możliwe do wystąpienia w przewidywanym czasie użytkowania konstrukcji. Według PN-EN 1990 są określone zależnościami

$$F_d = \gamma_{F,i} F_{rep,i}, \quad (14)$$

gdzie:

$F_{rep,i}$ – odpowiednia wartość reprezentatywna oddziaływania obliczona ze wzoru

$$F_{rep,i} = \psi_i F_{k,i}, \quad (15)$$

$F_{k,i}$ – wartość charakterystyczna oddziaływania,

$\gamma_{F,i}$ – współczynnik częściowy dla oddziaływań, uwzględniający możliwość niekorzystnych odchylenia wartości oddziaływań od wartości reprezentatywnych,

ψ_i – współczynniki kombinacyjne oddziaływań zmiennych: $\psi_i = 1,0$ lub ψ_0 - dla war-

Wartości obliczeniowe obciążeń

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

Reprezentatywną wartością oddziaływania głównego (wiodącego) jest jego wartość charakterystyczna $Q_{k,1}$ (dla której należy przyjąć $\psi = 1,0$).

Reprezentatywne wartości związanych (towarzyszących obciążeniu głównemu) oddziaływań zmiennych, są odniesione do wartości charakterystycznej oddziaływania głównego $Q_{k,i}$, za pomocą współczynników jednoczesności działania obciążeń ψ_i (o charakterze redukcyjnym; tabl. 2). Wartościami reprezentatywnymi obciążenia zmiennego są:

- wartość kombinacyjna: $\psi_0 Q_k$ – stosowana przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności i nieodwracalnych stanów granicznych użytkowalności,
- wartość częsta: $\psi_1 Q_k$ – stosowana przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności z uwzględnieniem oddziaływań wyjątkowych i przy sprawdzaniu odwracalnych stanów granicznych,
- wartość quasi-stała: $\psi_2 Q_k$ – stosowana przy sprawdzaniu stanów granicznych nośności z uwzględnieniem oddziaływań wyjątkowych STR i przy sprawdzaniu nieodwracalnych stanów granicznych użytkowalności. Wartości quasi-stałe są stosowane w obliczeniach efektów długotrwałych.

Sytuacje obliczeniowe

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,
- **wyjątkową** (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.

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. Kontrolę stopnia wyęźnienia konstrukcji (10) („wykorzystania” nośności) przeprowadza się w przekrojach (w miejscach ekstremalnych sił wewnętrznych, połączeniach, węzłach, stykach montażowych) lub elementach (belkach, słupach) krytycznych (niebezpiecznych). Przekroje lub elementy krytyczne to takie, w których na wskutek przyrostu obciążeń dochodzi do wyczerpania nośności, prowadzącego do zamiany konstrukcji w ustrój geometrycznie zmienny (awarii lub katastrofy). Do wykonania tego etapu obliczeń niezbędna jest znajomość sił wewnętrznych w całej konstrukcji.

Kombinacje oddziaływań

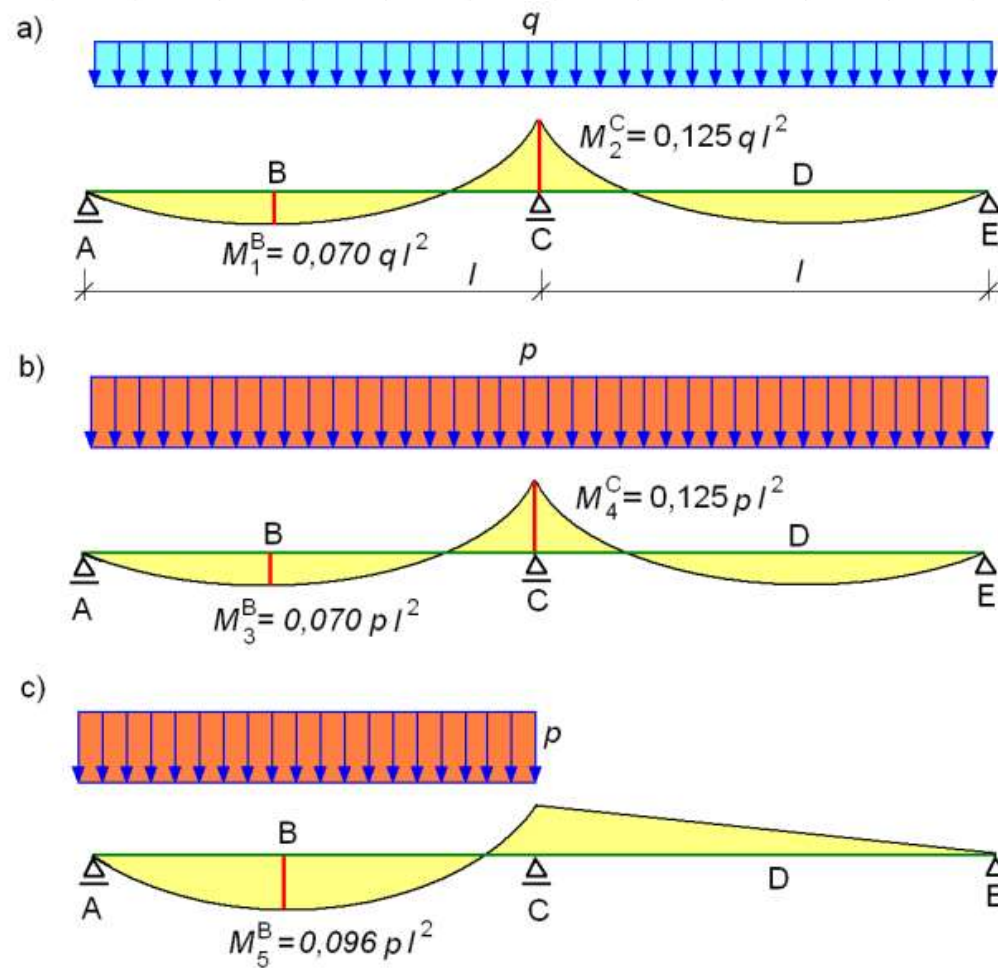
Przypadki obciążeń konstrukcji obejmują szczególne usytuowanie obciążeń zmiennych (oraz stałych), które są uwzględniane w obliczeniach (na konstrukcję może działać równocześnie kilka różnych rodzajów obciążeń). W ocenie wyężenia oddziaływania zmienne powinny być tak usytuowane, aby wywołać najniekorzystniejsze skutki w konstrukcji, w analizowanym stanie granicznym. Dlatego 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.

Kombinacja oddziaływań stanowi zbiór wartości obliczeniowych do sprawdzenia niezawodności konstrukcji, pod równoczesnym wpływem różnych oddziaływań.

Kombinacje oddziaływań

Ostatecznym celem obliczeń statycznych jest wyznaczenie najniekorzystniejszych (ekstremalnych) sił wewnętrznych w charakterystycznych tzw. krytycznych przekrojach konstrukcji. Wyznacza się je dla najniekorzystniejszego układu obciążeń analizowanego ustroju. W sytuacji, gdy na konstrukcję i działa kilka różnych obciążeń zmiennych należy ustalić kombinację najniekorzystniejszych schematów obciążeń, tj. takich, które wywołują maksymalne wyężenia (nie należy dokonywać prostego sumowania wszystkich możliwych 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 wyężenie wszystkich badanych przekrojów krytycznych konstrukcji. W związku z tym należy wyznaczyć wartości sił wewnętrznych w charakterystycznych przekrojach konstrukcji od każdego z występujących obciążeń osobno, a następnie przeprowadzić kojarzenie (sumowanie) dla ustalenia maksymalnych wyężień przekrojów i elementów krytycznych ustroju. Powyższy fakt sprawia, iż należy wykonać obliczenia statyczne konstrukcji osobno dla obciążeń stałych i osobno dla każdego z jej obciążeń zmiennych.

Kombinacje oddziaływań



Rys. 12. Schematy obciążeń dwuprzęsłowej belki

Kombinacje oddziaływań

W celu wyznaczenia maksymalnego wyężenia przekroju C nad podporą poēredniā belki, naleēy zsumowaē momenty zginajāce od cięēaru wlanego q (schemat a) na rys. 12) oraz od występowania obciāżenia zmiennego p na jej obu przęslach (schemat b) na rys. 12). Ten moment zginajācy wynosi $M_{\max}^C = M_2^C + M_4^C = 0,125(g + p)l^2$.

W przypadku ustalania maksymalnego wyężenia przekroju BC w przęśle belki, naleēy zsumowaē momenty zginajāce od cięēaru wlanego q (schemat a) na rys. 12) oraz od występowania obciāżenia zmiennego p na jednym przęśle (schemat c) na rys. 12). Ten moment zginajācy wynosi $M_{\max}^B = M_1^B + M_5^B = 0,125gl^2 + 0,096pl^2$.

Kombinacje oddziaływań

Ponadto należy zwrócić uwagę, że kryteria „sumowania” obciążeń poszczególnych przekrojów krytycznych mogą być odmienne. Na przykład sprawdzając nośność pręta rozciąganego należy przyjąć taką kombinację obciążeń, w której wystąpi maksymalna siła rozciągająca $N_{t,Ed}$, analizując zaś jego wyboczenie, należy przyjąć inną kombinację obciążeń, w której wystąpi największa siła ściskająca $N_{c,Ed}$. Z kolei sprawdzając jego połączenie z fundamentem istotna jest m.in. minimalna siła podłużna $N_{min,Ed}$ i maksymalny moment zginający M_{Ed} .

Kombinacje oddziaływań

Tylko w nielicznych przypadkach jest wiadome, który układ obciążeń spowoduje najniekorzystniejszy stan wyężenia konstrukcji. Do określenia maksymalnych wartości sił wewnętrznych, dochodzi się drogą prób przez kojarzenie równoczesnego występowania obciążeń ustroju. Należy dokonać wyboru schematów różnych obciążeń uwzględniając przy tym, że niektóre z nich mogą nie występować jednocześnie, zmieniać położenie, a także sprawdzić czy są realne. Na przykład wiatr nie może równocześnie obciążać obiektu z prawej i lewej strony, a obciążenie od ciężaru własnego występuje zawsze w kombinacji obciążeń mimo, iż nie uwzględnienie go w analizie daje niekorzystniejsze wyężenie ustroju. Realność kombinacji obciążeń polega więc na logicznym uwzględnieniu możliwości równoczesnego działania lub nie występowania różnych zmiennych obciążeń.

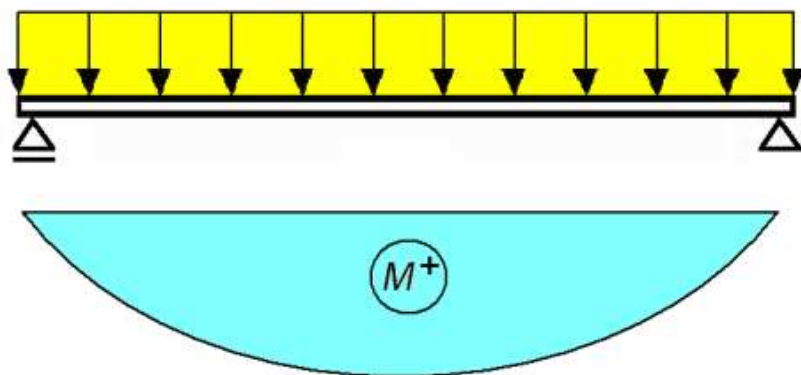
Kombinacje oddziaływań

Kombinację obciążeń, dla której występuje jej ekstremalne wyężenie lub przemieszczenie, należy ustalić indywidualnie dla badanego elementu konstrukcji oraz analizowanej sytuacji obliczeniowej. Na przykład kombinacja obciążeń stałego i zmiennych, która wywołuje ekstremalne wyężenie blachy fałdowej obudowy dachu jest inna niż dla rygla kratowego dachu tego budynku. Ponadto analizując bezpieczeństwo i wytrzymałość blachy fałdowej jej przekrój poprzeczny dobiera się na podstawie np. wyężenia od ciężaru własnego, śniegu i parcia wiatru, łączniki Ł zaś mocujące blachę fałdową do konstrukcji wsporczej, oblicza się na siły od ciężaru własnego i ssania wiatru (rys. 13). W tym przypadku są to dwie różne kombinacje obciążeń dla jednego elementu.

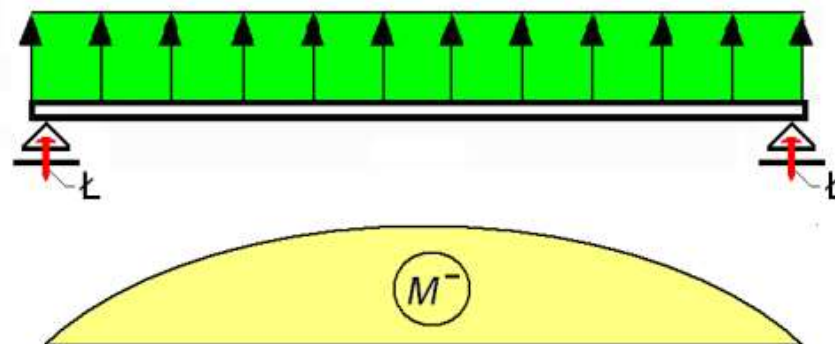
Podsumowując należy stwierdzić, iż przeprowadzenie analizy występowania ekstremalnych efektów działania obciążeń na konstrukcję, należy poprzedzić ustaleniem schematów i parametrów każdego z występujących obciążeń osobno, a następnie przeprowadzić analizę dla ustalenia maksimum-maksimum wyężeń elementów.

Kombinacje oddziaływań

a)
obciążenie stałe + obciążenia śniegim + "parcie" wiatru



b)
obciążenia stałe + "ssanie" wiatru (unoszące)



Rys. 13. Schematy obciążeń dachowej blachy fałdowej; ξ - połączenie

SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

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

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} "+" \gamma_P P "+" \gamma_{Q,1} Q_{k,1} "+" \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10b)$$

gdzie:

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

Σ – oznacza „łączny efekt”

ξ – współczynnik redukcyjny dla niekorzystnych oddziaływań stałych G

SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

Tablica A1.2(B) – Wartości obliczeniowe oddziaływań (STR/GEO) (zestaw B)

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

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

(*) Oddziaływaniami zmiennymi są te, które uwzględniono w tablicy A1.1.

UWAGA 1 Wybór 6.10 lub 6.10a 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 γ i ξ mogą być podane w załączniku krajowym. Zalecane wartości γ i ξ do zastosowania w wyrażeniach 6.10 lub 6.10a i 6.10b podano niżej:

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

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

$$\gamma_{Q,1} = 1,50 \text{ jeżeli niekorzystne (0 jeżeli korzystne)}$$

$$\gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ jeżeli niekorzystne (0 jeżeli korzystne)}$$

$$\xi = 0,85 \text{ (tak aby } \xi \gamma_{Gj,sup} = 0,85 \times 1,35 \approx 1,15).$$

Patrz także EN 1991 do EN 1999 w sprawie wartości γ 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 γ_S i γ_D można podzielić na γ_S i γ_D i współczynnik γ_{Sd} uwzględniający niepewność modelu. Wartości γ_{Sd} mieszczą się najczęściej w przedziale od 1,05 do 1,15 i mogą być różnicowane w załączniku krajowym.

Zalecane wartości współczynników ψ dla budynków

Tablica A 1.1 – Zalecane wartości współczynników ψ dla budynków

Oddziaływania	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Obciążenie 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 ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategoria G: powierzchnie ruchu pojazdów 30 kN < ciężar pojazdu ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategoria H: dachy	0	0	0,0
Obciążenie budynków śniegiem (patrz EN 1991-1-3) *)			
Finlandia, Islandia, Norwegia, Szwecja	0,70	0,50	0,20
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H > 1000$ m ponad poziom morza	0,70	0,50	0,20
Pozostałe kraje CEN, miejscowości położone na wysokości $H \leq 1000$ m ponad poziom morza	0,50	0,20	0,20
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
UWAGA: Wartości ψ mogą być określone w załączniku krajowym *) Dotyczy krajów nie wymienionych poniżej – patrz miarodajne warunki miejscowe.			

SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

Zgodnie z PN-EN 1990 (według tabl. A1.2(B) – *Wartości obliczeniowe oddziaływań (STR/GEO) (zestaw B)*) obliczeniowe efekty oddziaływań E_d na konstrukcje w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej ma następującą postać:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P P \text{ "+" } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (16)$$

sprężenie
towarzyszące oddziaływania zmienne
↓
↓
↑
↑
oddziaływania stałe
wiodące oddziaływanie zmienne

gdzie:

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

P_k – charakterystyczne oddziaływanie sprężające,

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

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

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

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

"+" – oznacza należy uwzględnić „z”,

Σ – oznacza łączny efekt oddziaływań.

SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

Zalecane w PN-EN 1990 wartości współczynników obciążeń γ_i przy sprawdzaniu nośności w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej konstrukcji wynoszą:

$$\gamma_{Gj,sup} = 1,35, \quad (17)$$

$$\gamma_{Gj,inf} = 1,00, \quad (18)$$

$$\gamma_{Q,1} = \gamma_{Q,i} = 1,50 \text{ (lub } 0), \quad (19)$$

gdzie:

$\gamma_{Gj,sup}$ – współczynnik obciążenia, gdy występuje niekorzystne oddziaływanie stałe – wartość wyższa (indeks *sup.* – od *superior*),

$\gamma_{Gj,inf}$ – współczynnik obciążenia, gdy występuje korzystne oddziaływanie stałe – wartość niższa (indeks *inf.* – od *inferior*).

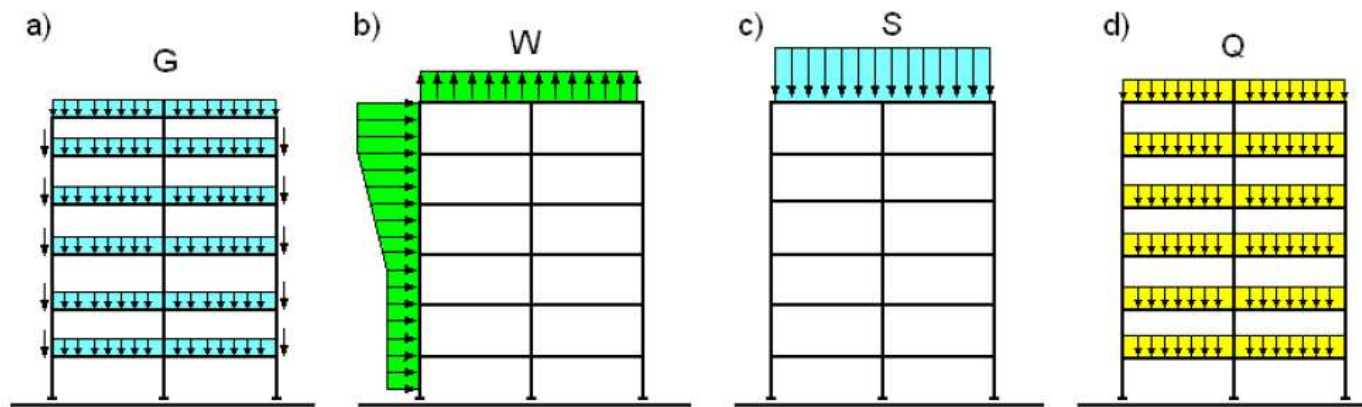
SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

Symbol "+" w (16) należy interpretować jako kombinację obciążeń konstrukcji, w celu ustalenia maksimum/maksimumum sił wewnętrznych w przekrojach krytycznych ustroju nośnego. Ustala się je systematycznie analizując (16).

W przypadku typowych budynków (rys. 14), w których występują schematy:

- obciążenia stałe G (rys. 14a),
- obciążenie wiatrem W (rys. 14b),
- obciążenie śniegiem S (rys. 14c),
- obciążenie użytkowe Q (rys. 14d),

można wyróżnić 4 kombinacje podstawowe.



Rys.14. Schematy obciążeń budynku

SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

W przypadku sprawdzania stanu granicznego nośności konstrukcji budynku pokazanego na rys. 14 w ustalaniu efektów działania obciążeń E_d , współczynniki obciążeń γ_i i współczynniki redukcyjne $\psi_{0,i}$ (podane w nawiasach (19)-(22)) są następujące:

- kombinacja 1 – obciążenia stałe G + obciążenie wiatrem W jako wiodące + zredukowane zmienne obciążenia towarzyszące (śniegiem S i użytkowe Q):

$$E_{d,1} = G \cdot (1,35) + W \cdot (1,50) + S \cdot (1,50 \cdot 0,5) + Q \cdot (1,50 \cdot 0,7), \quad (20)$$

- kombinacja 2 – obciążenia stałe G + obciążenie śniegiem S jako wiodące + zredukowane zmienne obciążenia towarzyszące (wiatrem W i użytkowe Q):

$$E_{d,2} = G \cdot (1,35) + S \cdot (1,50) + W \cdot (1,50 \cdot 0,6) + Q \cdot (1,50 \cdot 0,7), \quad (21)$$

SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

- kombinacja 3 – obciążenia stałe G + obciążenie użytkowe Q jako wiodące + zredukowane zmienne obciążenia towarzyszące (wiatrem W i śniegiem S):

$$E_{d,3} = G \cdot (1,35) + Q(1,50) + W(1,50 \cdot 0,6) + S(1,50 \cdot 0,5), \quad (22)$$

- kombinacja 4 – minimalne obciążenia stałe G + maksymalne obciążenia wiatrem W :

$$E_{d,4} = G \cdot (1,00) + W \cdot (1,50), \quad (23)$$

Sprawdzając stan graniczny użyteczności w (19)÷(22) należy przyjąć współczynniki obciążeń $\gamma_i = 1,00$ i współczynniki redukcyjne $\psi_{0,i}$.

SGN – kombinacja w przypadku trwałych lub przejściowych sytuacji obliczeniowych dla stanów granicznych STR i GEO

Wyrażenie (16) jest zależnością podstawową w ocenie obliczeniowych efektów oddziaływań w przypadku STR i GEO. Jego stosowanie prowadzi z reguły do większego zużycia materiałów. Dlatego Załącznik Krajowy w PN-EN 1990 zaleca, aby przy sprawdzaniu stanów granicznych STR i GEO1 (według tabl. A1.2(B) – *Wartości obliczeniowe oddziaływań (STR/GEO) (zestaw B)*), w trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej przyjmować jako miarodajną kombinację oddziaływań mniej korzystną z dwóch podanych poniżej:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (24)$$

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \zeta_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}, \quad (25)$$

gdzie:

ζ – współczynnik redukcyjny dla niekorzystnych obciążeń stałych; ($\zeta = 0,85$),

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

SGU – kombinacja oddziaływań

a) kombinacja charakterystyczna

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

UWAGA Kombinacja charakterystyczna stosowana jest zwykle dla nieodwracalnych stanów granicznych.

b) Kombinacja częsta:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

UWAGA: Kombinacja częsta stosowana jest zwykle dla odwracalnych stanów granicznych.

c) Kombinacja quasi-stała:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$

gdzie oznaczenia są takie jak podano w 1.6 i 6.4.3(1).

UWAGA Kombinacja quasi-stała stosowana jest zwykle dla oceny efektów długotrwałych i wyglądu konstrukcji.

SGU – kombinacja oddziaływań

A1.4 Stany graniczne użyteczności

A1.4.1 Współczynniki częściowe dla oddziaływań

(1) Dla stanów granicznych użyteczności zaleca się przyjmowanie współczynników częściowych równych 1,0, jeżeli w EN 1991 do EN 1999 nie ustalono inaczej.

Tablica A1.4 – Wartości obliczeniowe w kombinacji oddziaływań

Kombinacja	Oddziaływania stałe G_d		Oddziaływania zmienne Q_d	
	Niekorzystne	Korzystne	Wiodące	Pozostałe
Charakterystyczna	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Częsta	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Quasi-stała	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Do zrobienia

1. Należy przesać ćwiczzenie projektowe nr 4 w formacie .pdf (plik należy nazwać w następujący sposób: Zad_4_Nazwisko_Imię).

Literatura

- [1] PN-EN 1990:2004 Eurokod 0: Postawy projektowania konstrukcji.
- [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.
- [3] PN-EN 1991-1-3:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje.
Część 1-3: Oddziaływania ogólne. Obciążenia śniegiem.
- [4] PN-EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje.
Część 1-4: Oddziaływania ogólne. Obciążenia wiatrem.

Literatura

[5] Biegus A.: Podstawy projektowania i oddziaływania na konstrukcje budowlane. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014.



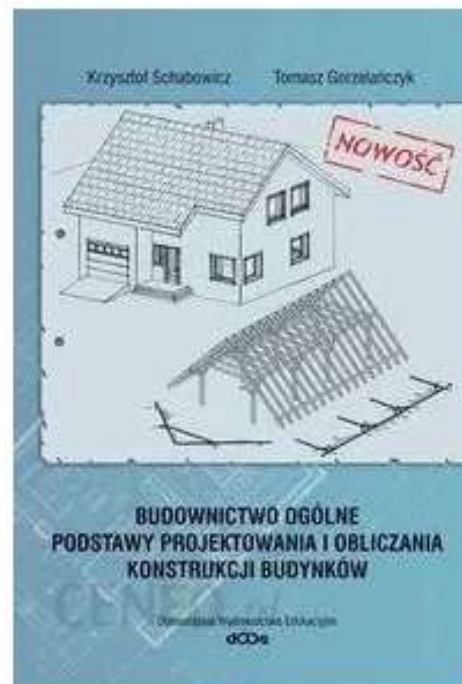
Literatura

[6] Hoła J., Pietraszek P., Schabowicz K.: Obliczanie konstrukcji budynków wznoszonych tradycyjnie. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2009.



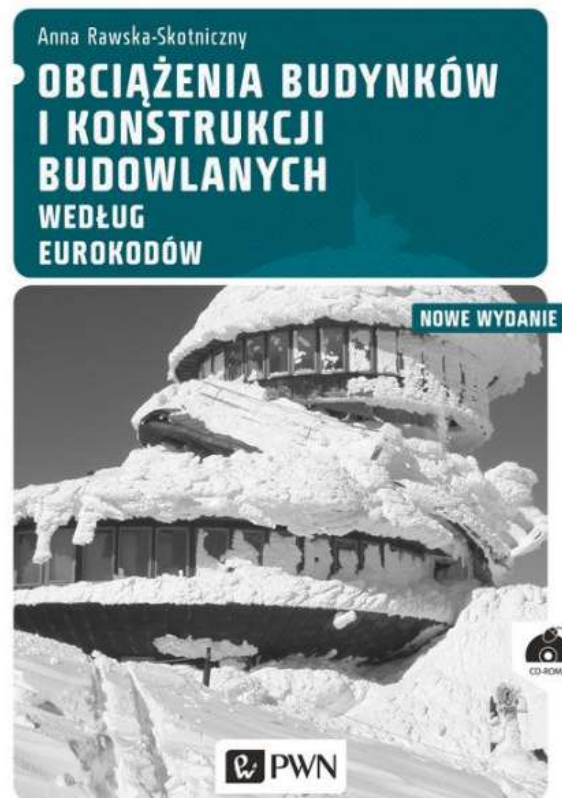
Literatura

[7] Schabowicz K., Gorzelańczyk T.: Budownictwo Ogólne. Podstawy projektowania i obliczania konstrukcji budowlanych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2017.



Literatura

[8] Rawska-Skotniczny A.: Obciążenia budynków i konstrukcji budowlanych według Eurokodów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2014.



Pomoce

[9] <http://kalkulatoryec.pl/>



PODSTAWY PROJEKTOWANIE I ODDZIAŁYWANIA NA KONSTRUKCJE

ĆWICZENIA

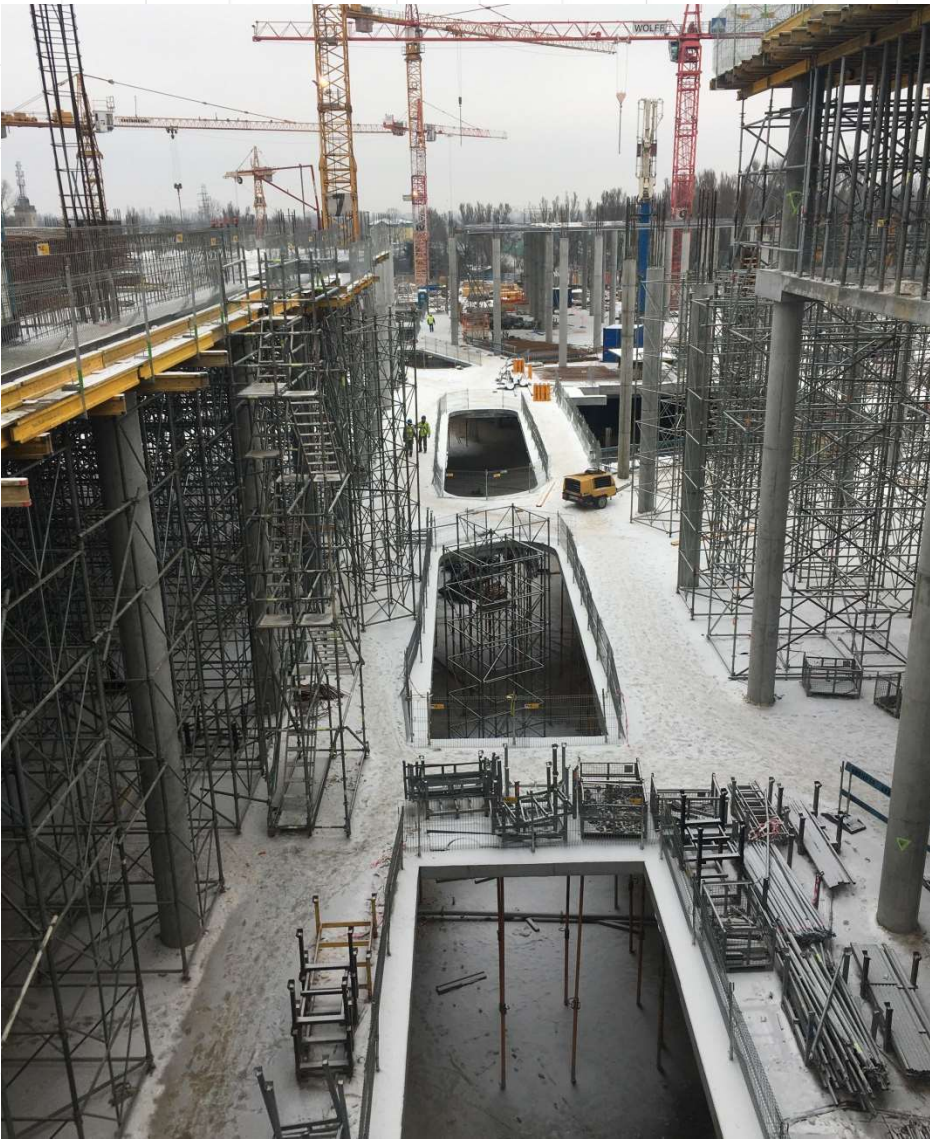
5. Kombinacje oddziaływań

dr inż. Paweł Niewiadomski

pawel.niewiadomski@pwr.edu.pl

bud. C-7, pok. 701

<https://wbliw.pwr.edu.pl/pracownicy/pawel-niewiadomski>



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska