



wroclawska

Politechnika Wroclawska

PODSTAWY PROJEKTOWANIA I ODDZIAŁYWANIA NA KONSTRUKCJE BUDOWLANE WYKŁAD 5

Podstawy obliczeń stanów granicznych konstrukcji.

dr hab. inż. Łukasz SADOWSKI, prof. uczelni
lukasz.sadowski@pwr.edu.pl

Politechnika Wroclawska

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

C-7, pok. 712



Stany graniczne - stany, po przekroczeniu których konstrukcja nie spełnia stawianych jej kryteriów projektowych i użytkowych



Rozróżnia się stany graniczne nośności SGN i stany graniczne użytkowalności SGU

- SGN - (ang. Ultimate Limit State - ULS) stany związane z katastrofą lub innymi podobnymi postaciami zniszczenia konstrukcji (utrata nośności poprzez zniszczenie elementu nośnego)
- SGU - (ang. Serviceability Limit State - SLS) stany odpowiadające warunkom, po przekroczeniu których konstrukcja lub jej element przestają spełniać stawiane im wymagania użytkowe (ugięcie, zarysowanie)



Sprawdzenie jednego ze stanów granicznych można pominąć, jeżeli istnieją dostateczne informacje stwierdzające, że spełnienie jednego stanu granicznego spełnia też drugi stan graniczny.

*(zazwyczaj spełnienie wymagań dla SGU, np. dla ugięcia, pozwala na spełnienie warunków SGN - nośność przekroju. Ale nie zawsze!)



Zaleca się, aby sprawdzenie stanów granicznych, związanych z efektami zależnymi od czasu (np. zmęczenie), nawiązywało do okresu użytkowania konstrukcji.

Uwaga: Większość efektów zależnych od czasu wzajemnie się kumuluje!

Przykładowa kumulacja czterech efektów oddziaływań

- Ciężar własny
- Obciążenie użytkowe
- Śnieg
- Wiatr





Wybrane sytuacje obliczeniowe należy określać w sposób dostatecznie wyczerpujący i tak zróżnicowany, aby uwzględniały praktycznie wszystkie warunki, które mogą wystąpić w trakcie wykonywania i użytkowania konstrukcji.



Stany graniczne dotyczące:

- bezpieczeństwa ludzi i/lub



- bezpieczeństwa konstrukcji



należy uważać za **stany graniczne nośności**.



W niektórych okolicznościach zaleca się, aby zaliczać do stanów granicznych nośności także stany graniczne dotyczące **ochrony zawartości budowli.**





Stany poprzedzające katastrofę konstrukcji, które dla uproszczenia uważane są za samą katastrofę, można traktować za stany graniczne nośności.



Należy sprawdzać 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,

ULS – GEO - zniszczenie lub nadmierne deformacje podłoża,

ULS – FAT - zniszczenie zmęczeniowe.



Stany graniczne dotyczące:

- funkcji konstrukcji lub elementu konstrukcji w warunkach zwykłego użytkowania;
- komfort użytkowników;
- wyglądu obiektu budowlanego (w kontekście wyglądu należy rozumieć duże ugięcia i intensywne rysy),
są stanami granicznymi użytkowalności.



Rozróżniać należy **odwracalne** i **nieodwracalne** stany graniczne użytkowości.

Przez pojęcie stany **odwracalne** rozumie się stany graniczne, w których po ustąpieniu oddziaływań **nie pozostają żadne ich konsekwencje**, przekraczające określone wymagania użytkowe, tzn. które ulegają zmianie w sytuacji, kiedy oddziaływania, które je spowodowały, zostaną usunięte (np. rysy w elementach, w których niedopuszczalne jest zarysowanie, ugięcia o określonych dopuszczalnych wartościach czy nadmierne drgania).

W odwracalnych stanach granicznych pierwsze (i kolejne) przekroczenie ustalonej wartości granicznej nie musi prowadzić do utraty jej zdolności użytkowych.





Z kolei przez pojęcie **nieodwracalne stany** rozumie się stany graniczne użytkowości, po przekroczeniu których konstrukcja lub jej element **przestają spełniać stawiane im wymagania.** Odnoszą się do właściwości konstrukcji nieulegających zmianom nawet wtedy, gdy oddziaływania, które je spowodowały, zostały usunięte, a konsekwencje powstałego przekroczenia **nie ulegają cofnięciu.**



Osiągnięcie danego rodzaju nieodwracalnego stanu granicznego rodzi określone skutki co do warunków dalszej eksploatacji konstrukcji, a w ostateczności do konieczności wyłączenia jej z eksploatacji i/lub wykonania wzmocnienia.

W nieodwracalnych stanach granicznych kryteria projektowe są podobne do kryteriów rozpatrywanych w stanach granicznych nośności.



Zaleca się, aby przy sprawdzaniu **stanów granicznych użyteczności** posługiwać się kryteriami dotyczącymi:

a) ugieć, wpływających na:

- wygląd,
- komfort użytkownika lub
- funkcje konstrukcji (w tym funkcjonowanie maszyn i instalacji),

lub powodujących uszkodzenia wykończenia lub elementów niekonstrukcyjnych;



b) drgań:

- powodujących dyskomfort ludzi,
- ograniczających przydatność użytkową konstrukcji;

c) uszkodzeń, wpływających negatywnie na:

- wygląd,
- trwałość lub
- funkcjonowanie konstrukcji.





Przy obliczaniu stanów granicznych należy posługiwać się modelami konstrukcji i oddziaływań dla odpowiednich stanów granicznych.

Należy wykazać, że żaden stan graniczny nie zostanie przekroczony, jeśli w modelach tych przyjęto obliczeniowe wartości:

- oddziaływań,
- właściwości materiałów,
- właściwości wyrobów,
- wielkości geometrycznych.



Sprawdzenia należy dokonać dla wszystkich istotnych sytuacji obliczeniowych i przypadków obciążeń.

Zaleca się, aby sprawdzić dany stan graniczny należy postępując się metodą współczynników częściowych.

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



Dla wybranych sytuacji obliczeniowych należy podać **krytyczne przypadki obciążeń**.

Zaleca się wskazanie przypadków obciążeń wymagających szczególnego sprawdzenia, określając miarodajne układy obciążeń, zbiory odkształceń i imperfekcji, które należy uwzględnić jednocześnie z oddziaływaniami umiejscowionymi i oddziaływaniami stałymi.



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

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.



Nośność obliczeniowa elementu według zasad przyjętych w Eurokodach

$$R_d = a \cdot C \cdot \frac{f_k}{\gamma_{Rd}}$$

gdzie:

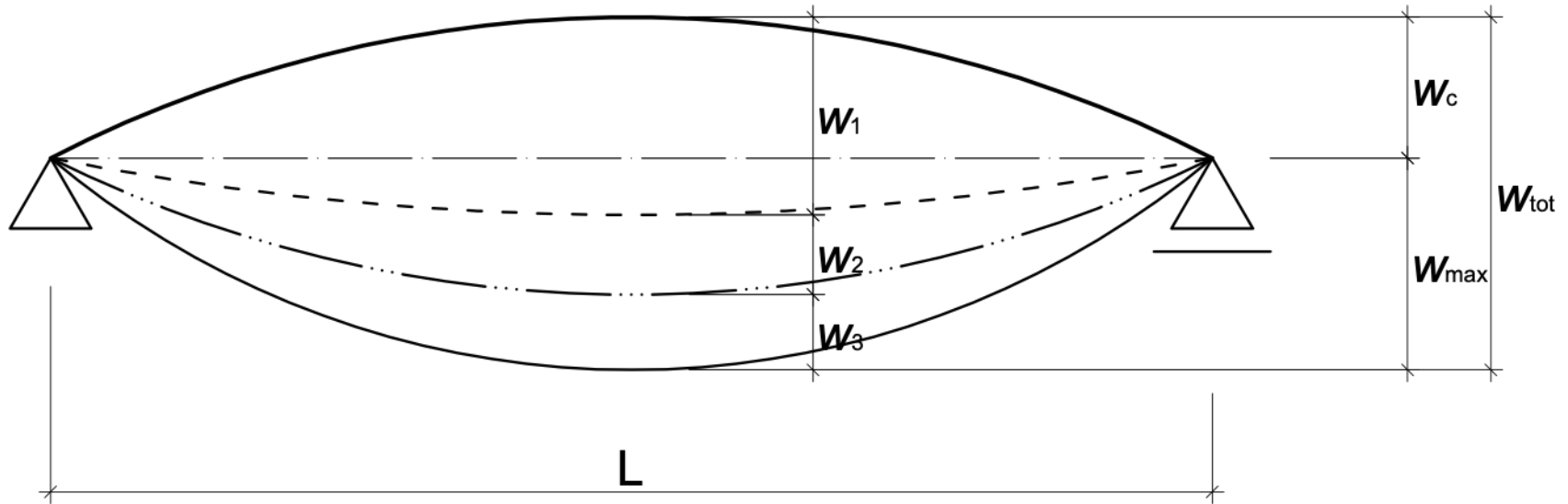
C - charakterystyka geometryczna przekroju pręta; np. $C = A$ w przypadku rozciągania (A - pole przekroju pręta), $C = W$ - w przypadku zginania (W - wskaźnik zginania przekroju pręta),

a - współczynnik modelu wytężenia elementu np. współczynnik wyboczeniowy,

f_k - wartość charakterystyczna parametru wytrzymałości materiału,

γ_{Rd} - częściowy współczynnik bezpieczeństwa uwzględniający niepewność modelu nośności i odchyłek geometrycznych (do oceny stanu granicznego nośności).

Pomiar ugięcia wg PN-EN 1990



w_c - strzałka odwrotna nieobciążonego elementu (podniesienie wykonawcze),

w_1 - początkowa (nieodwracalna) część ugięcia pod obciążeniem stałym,

w_2 - długotrwała (quasi-stała) część ugięcia pod obciążeniem stałym,

w_3 - dodatkowa (odwracalna) część ugięcia pod obciążeniem zmiennym,

w_{tot} - ugięcie całkowite ($w_1 + w_2 + w_3$),

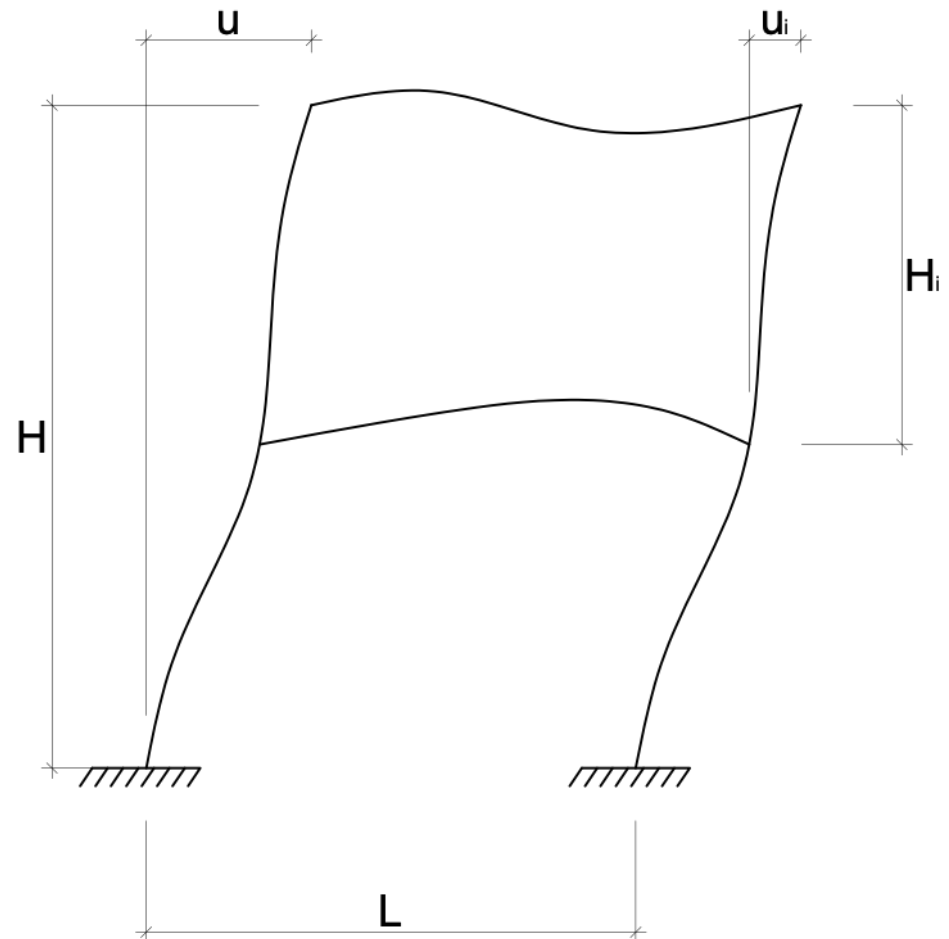
w_{max} - pozostałe ugięcie całkowite z uwzględnieniem strzałki odwrotnej ($w_{tot} - w_c$).

Na przykład według PN-EN 1993-1-1 zaleca się, aby przemieszczenia poziome nie przekraczały wartości granicznych w układach:

- jednokondygnacyjnych $H/150$,
- wielokondygnacyjnych $H/500$,

gdzie:

H - poziom rozpatrywanego rygla względem wierzchu fundamentu.





Dziękuję za uwagę

