

# PODSTAWY PROJEKTOWANIA I ODDZIAŁYWANIA NA KONSTRUKCJE

## WYKŁAD 3

*Metoda stanów granicznych  
i współczynników częściowych*

**dr inż. Paweł Niewiadomski**

pawel.niewiadomski@pwr.edu.pl

bud. G2D, pok. 5.78

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



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

Konstrukcje i elementy konstrukcji należy zaprojektować, zrealizować i utrzymywać w taki sposób, aby w zamierzonym okresie użytkowania (przewidzianym w projekcie, np. dla budynków mieszkalnych jest to 50 lat), z należyтым poziomem niezawodności i bez nadmiernych kosztów, przejmowała wszystkie oddziaływania i wpływy, które mogą wystąpić podczas wykonania (budowy) i użytkowania. Ponadto powinny pozostawać przydatne do przywidzianego w projekcie okresie użytkownika i nie powinny wykazywać uszkodzeń w stopniu nieproporcjonalnym do pierwotnej przyczyny w wyniku takich wydarzeń jak powódź, obsunięcie terenu, pożar, wybuch, uderzenie itp. W tym celu według PN-EN 1990 należy zapewnić jej odpowiednią:

- nośność (wytrzymałość – zdolność przenoszenia oddziaływań, a także odporność ogniową),
- użytkowalność (zdolność użytkową w sensie sztywności),
- trwałość w projektowanym okresie użytkowania tj. kontrolowaną deteriorację (pogorszenie się stanu konstrukcji podczas jej eksploatacji) przez właściwe utrzymanie budowli w trakcie użytkowania eksploatacji,
- integralność strukturalna, czyli nieuleganie nadmiernym zniszczeniom w wypadku zdarzeń wyjątkowych (np. wybuch, uderzenie) tj. nie uleganie zniszczeniom, których konsekwencje (szkody) byłyby niewspółmierne do początkowej przyczyny.

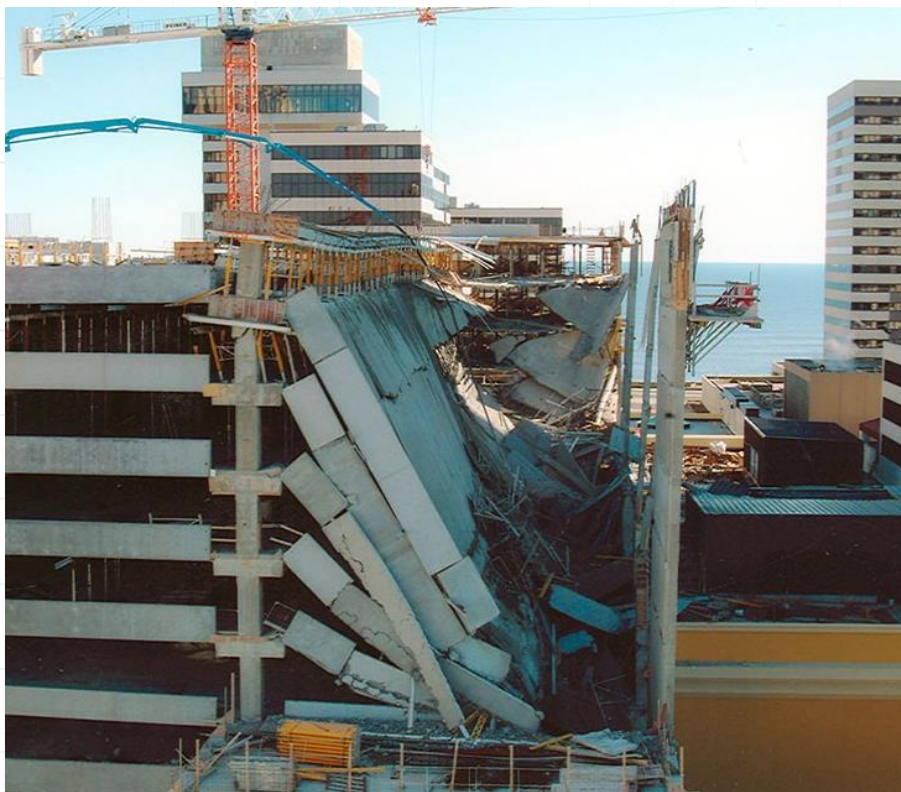
# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

Stany graniczne to takie stany, po przekroczeniu których konstrukcja nie spełnia wymienionych wymagań wytrzymałościowych i użytkowych (przestaje spełniać swoje funkcje lub przestaje odpowiadać założonym kryteriom projektowym). Ogólnie można stwierdzić, że osiągając stan graniczny konstrukcja zagraża bezpieczeństwu (zostaje wyczerpana jej wytrzymałość) lub przestaje spełniać wymagania użytkowe. Stąd różni się stany graniczne:

- nośności (związane z katastrofą lub innymi podobnymi postaciami zniszczenia konstrukcji) oraz
- użyteczności (stany odpowiadające warunkom, po przekroczeniu których konstrukcja przestaje spełniać stawiane jej wymagania użytkowe).

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

Stan Graniczny Nośności (SGN)  
*Ultimate Limit State (ULS)*



Stan Graniczny Użytkowalności (SGU)  
*Serviceability Limit State (SLS)*



# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

Kanwą metodologiczną sprawdzania niezawodności konstrukcji budowlanych według PN-EN 1990 stanowi metoda stanów granicznych i współczynników częściowych.

Efekt oddziaływań  $E$  w postaci sił wewnętrznych tj. momentów zginających  $M_E$ , sił podłużnych  $N_E$ , sił poprzecznych  $V_E$  oraz ugięć  $y$ , to wynik działania na konstrukcję obciążeń  $F_i$ :

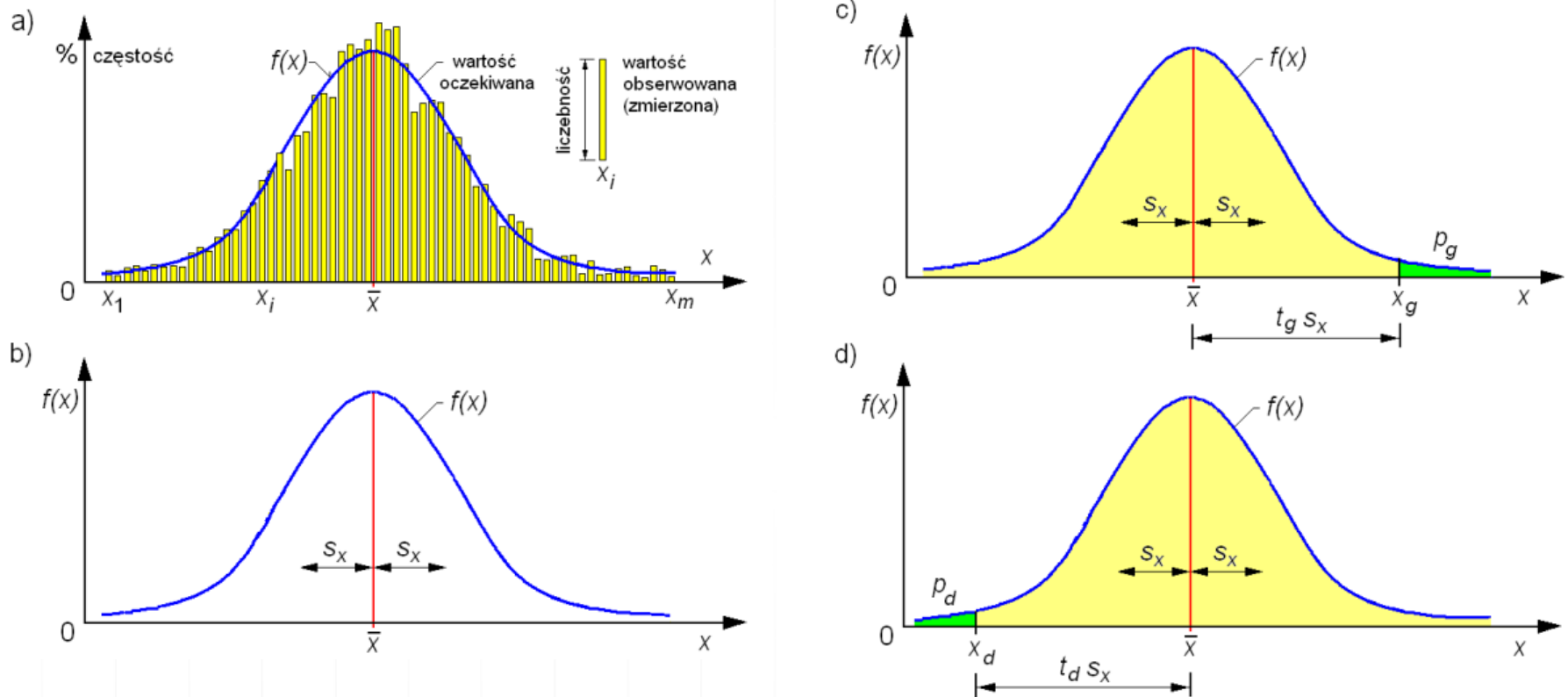
- stałych (np.  $G$  - ciężaru własnego, instalacji itp.) oraz
- zmiennych ( $Q$  - obciążenia: użytkowego, śniegiem, technologicznego, oddziaływania: wiatru, temperatury itp.).

Nośności  $R$  przekrojów oraz elementów konstrukcji (np. na zginanie  $M_R$ , na rozciąganie  $N_R$ , na ściskanie  $N_{Rb}$ , na ścinanie  $V_R$ ) zależą od cech wytrzymałościowych materiału i charakterystyk geometrycznych przekrojów.

Konstrukcje uznaje się za bezpieczną, gdy jej efekty oddziaływań  $E$  są mniejsze od nośności  $R$ . Warunek bezpieczeństwa konstrukcji opisuje zależność

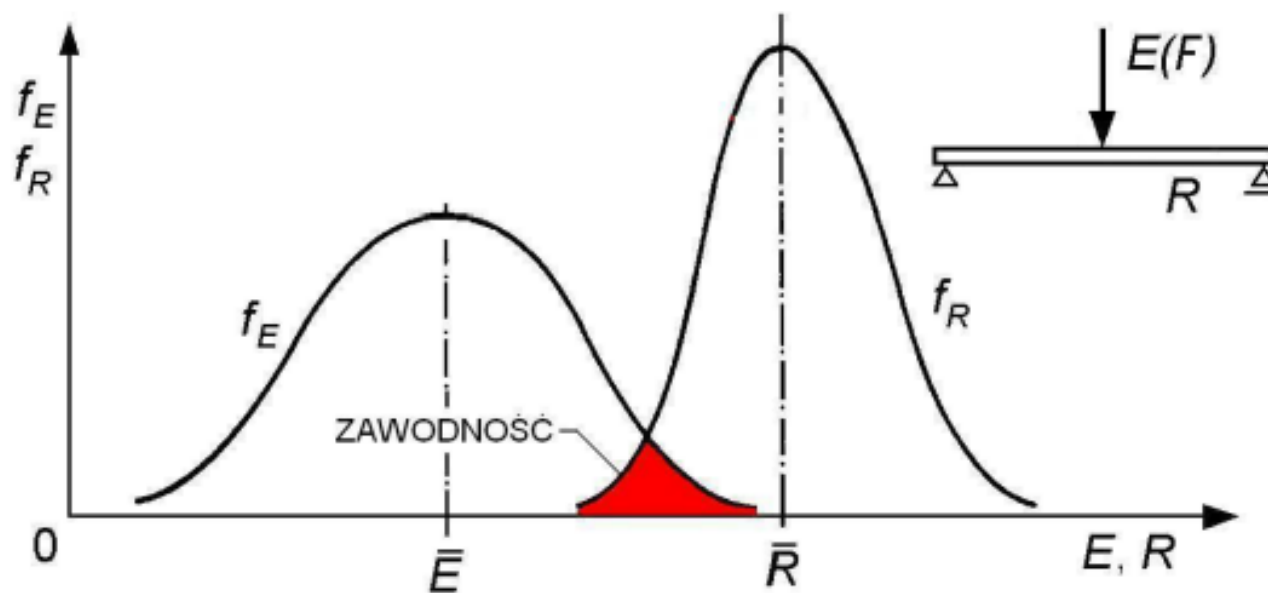
$$E \leq R, \quad (1)$$

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych



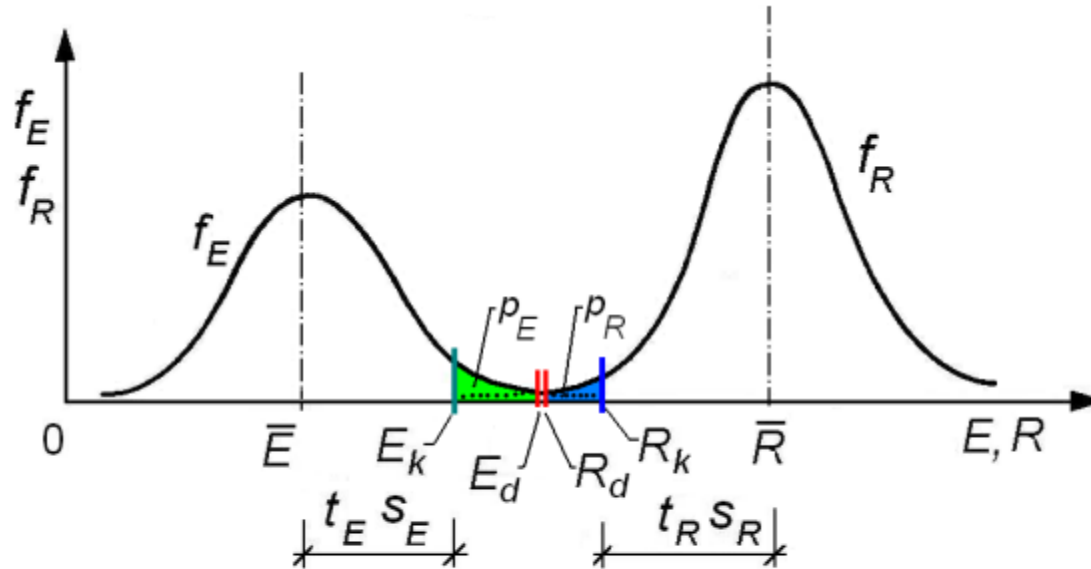
Rys. 6. Histogram zmiennej losowej  $x$  (a), funkcja prawdopodobieństwa zmiennej losowej  $f(x)$  (b), kwantyle zmiennej losowej: górny  $x_g$  (c) oraz dolny  $x_d$  (d)

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych



Rys. 7. Analiza niezawodności elementu konstrukcji

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych



Rys. 8. Analizy zapasu bezpieczeństwa według metody współczynników częściowych



# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

W ocenie bezpieczeństwa konstrukcji w stanie granicznym nośności losowy charakter zmienności obciążeń uwzględnia się przez zwiększenie ich współczynnikiem obciążeń  $\gamma_{F,i}$  (mnożnikiem) i wartość obliczeniowa efektu oddziaływań  $E_d$  wynosi:

$$E_d = E_k(F_{k,i} \cdot \gamma_{F,i}), \quad (5)$$

losowość wytrzymałości zaś ocenia się przez jej zmniejszenie współczynnikiem nośności  $\gamma_R$  (dzielnikiem) i obliczeniowa nośność  $R_d$  wynosi:

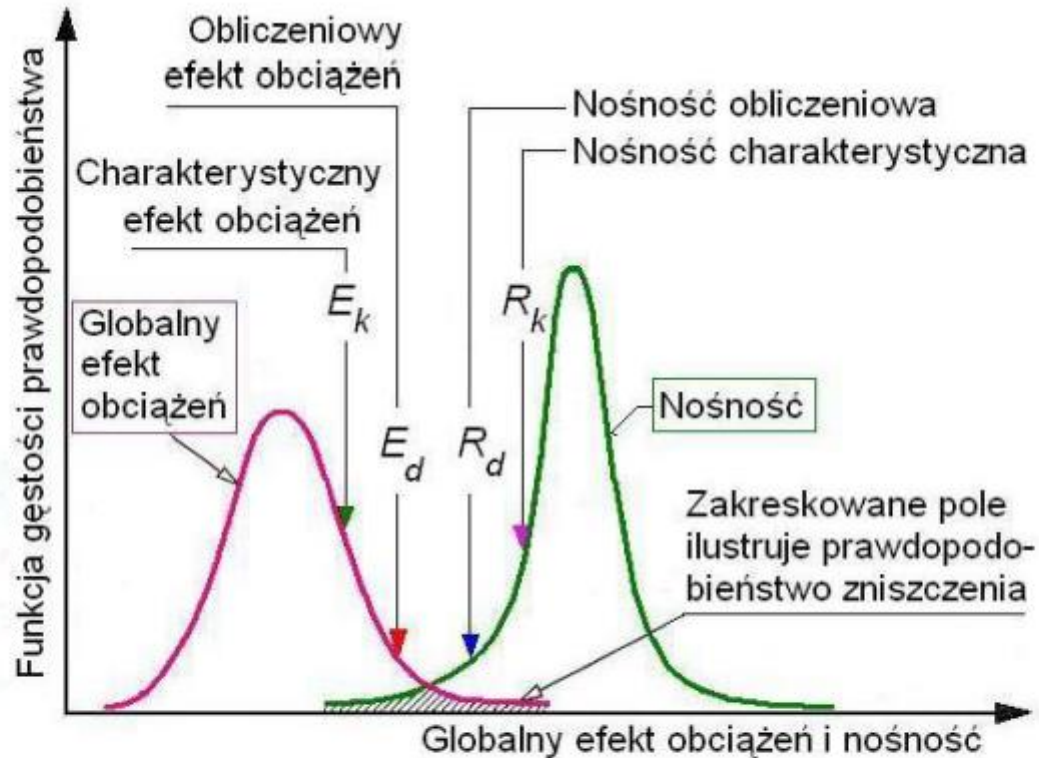
$$R_d = R_k \left( \frac{R_k}{\gamma_R} \right), \quad (6)$$

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

W stanie granicznym nośności konstrukcję uważa się za bezpieczną, gdy obliczeniowe efekty oddziaływań  $E_d$  są mniejsze od obliczeniowej nośności  $R_d$  (rys. 8, 9), czyli, gdy jej stopień wyęźnienia  $E_d/R_d$  jest mniejszy od 1. Ocenę bezpieczeństwa konstrukcji wyraża zależność:

$$\frac{E_d}{R_d} = \frac{E_d(F_{k,i} \cdot \gamma_{F,i})}{R_d \left( \frac{R_k}{\gamma_R} \right)} \leq 1. \quad (7)$$

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych



Rys. 9. Schemat analizy bezpieczeństwa w stanie granicznym nośności według metody współczynników częściowych

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

W aplikacyjnym ujęciu tej metody w PN-EN 1990 częściowe współczynniki bezpieczeństwa oddziaływań  $\gamma_F$  oraz nośności  $\gamma_R$  występują w postaci wielu cząstkowych współczynników np. współczynniki obciążenia  $\gamma_{F,i}$ , współczynniki konsekwencji zniszczenia  $K_{F,i}$ , jednoczesności działania obciążeń  $\psi_{0,i}$ ,  $\psi_{1,i}$ ,  $\psi_{2,i}$  i współczynniki materiałowe dotyczące np.: betonu  $\gamma_C$ , stali konstrukcyjnej  $\gamma_{M0} \div \gamma_{M7}$ , stali zbrojeniowej  $\gamma_s$  oraz jako nie jawne w różnych modelach obliczeniowych.

Zgodnie z przyjętą zasadą wszystkie wartości charakterystyczne powinny być wyznaczone w oparciu o statystyczne krzywe rozkładu, ustalone dla każdego z parametrów na podstawie odpowiednio licznych wyników pomiarów (badań).

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

Wg postanowień PN-EN 1990 wartości charakterystyczne obciążeń np. oddziaływań klimatycznych (śniegu, wiatru, temperatury) ustala się przy założeniu, że prawdopodobieństwo przekroczenia jego części zmiennej wynosi  $p_E = 0,02$ , czyli ryzyko wystąpienia oddziaływania większego wynosi  $r_E = 2\%$ . Jest to równoważne średniej wartości okresu powrotu 50 lat dla części zmieniającej się w czasie. Przez okres powrotu rozumie się średni przedział czasu między kolejnymi przekroczeniami (zwykle przewyższeniami) określonych wartości. Okres powrotu nie oznacza periodyczności pojawiania się określonych wartości, ani nie precyzuje, kiedy ich przekroczenie może nastąpić. Może to być w dowolnym roku użytkowania konstrukcji, może się także zdarzyć, że takiego przekroczenia nie będzie w całym rozpatrywanym okresie 50 lat.

Wartości charakterystyczne obciążeń i oddziaływań  $F_{k,i}$  podano w różnych częściach PN-EN 1991 *Oddziaływania na konstrukcje*.

# Metoda stanów granicznych i współczynników częściowych

Jeśli w PN-EN 1990÷PN-EN 1999 nie podano inaczej to: kiedy dolna właściwość materiału (wytrzymałość) jest niekorzystna, to jej wartość charakterystyczną  $R_k$  ustala się jako kwantyl dolny o prawdopodobieństwie  $p_R = 0,05$ , czyli ryzyko wystąpienia niższej wytrzymałości wynosi  $r_R = 5\%$ . Wartości charakterystyczne właściwości materiałów  $R_k$  podano w Eurokodach PN-EN 1991÷PN-EN 1999.

# PODSTAWY PROJEKTOWANIA I ODDZIAŁYWANIA NA KONSTRUKCJE

## WYKŁAD 3

*Metoda stanów granicznych  
i współczynników częściowych*

**dr inż. Paweł Niewiadomski**

pawel.niewiadomski@pwr.edu.pl

bud. G2D, pok. 5.78

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



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska