Przykład obliczenia naprężeń w przekroju belki zespolonej

Określić rozkład naprężenia w przekroju betonowym 0.2 × 0.2 m, wzmocnionym profilem I550 jak na rysunku, obciążonym N = 500 kN (rozciąganie) oraz M = 490.5 kNm (dolne włókna rozciągane), dla danych:

1. stal St3S, E = 210 GPa, h = 55 cm, J_y = 99180 cm^4, F = 213 cm^2,
2. beton B20, E = 23 GPa, F = 400 cm^2.

Rozwiązanie:

Obliczamy: $n = E_1/E_2 = 9.13$,

oś geometryczna (środek ciężkości): $z_C = (0.0213 \cdot 0.275+0.04 \cdot 0.65)/(0.0213+0.04) = 0.520$ m

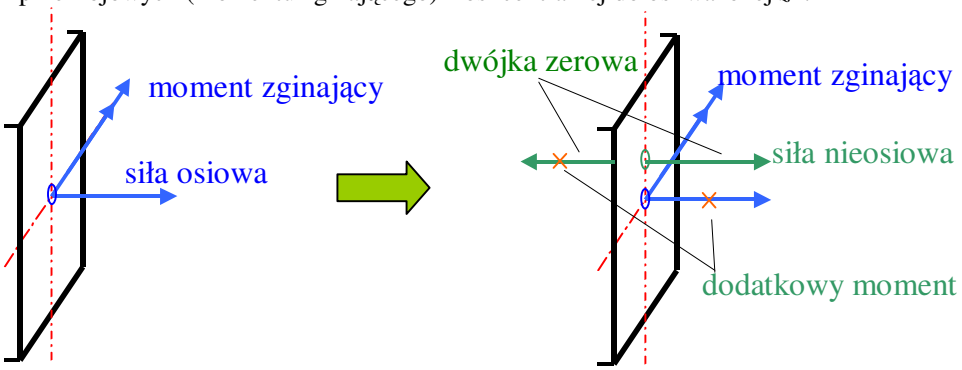
charakterystyki ważone:

pole ważone: $F^* = 9.13 \cdot 0.0213+0.04 = 0.2345$ m^2

oś ważona: $z^* = S_y^*/F^* = (9.13 \cdot 0.0213 \cdot 0.275+0.04 \cdot 0.65)/0.2345 = 0.339$ m

$J^* = 9.13 \cdot [9.918 \cdot 10^{-4}+0.0213 \cdot (0.339-0.275)^2]+0.2^4/12+0.04 \cdot (0.65-0.339)^2 = 0.01385$ m^4

redukcja sił przekrojowych (momentu zginającego) z osi centralnej do osi ważonej z^*:



$\hat{M}$ = 490.5 - 500•(0.52 - 0.339) = 400 kNm

naprężenia:

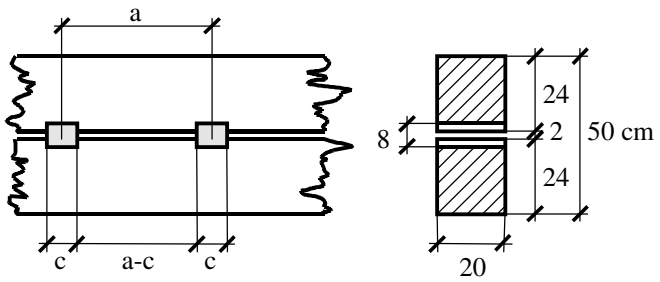
$\sigma_1 = 19.5 + 263.7z$, $\sigma_1(-0.211) = -36.2$ MPa, $\sigma_1(0.339) = 108.9$ MPa

$\sigma_2 = 2.13 + 28.9z$, $\sigma_2(-0.411) = -9.7$ MPa, $\sigma_2(-0.211) = -4.0$ MPa

Rozkład naprężeń normalnych w przekroju zespolonym przedstawia rysunek. Jak widać, dzięki wzmocnieniu przekroju betonowego profilem stalowym naprężenia normalne, zarówno w betonie jak i w stali, nie przekraczają wartości dopuszczalnych (obliczeniowych).

Przykład - belka drewniana

Drewniana belka składa się z dwóch sosnowych bali o przekrojach 0.2 x 0.24 m, połączonych ze sobą za pomocą śrub (które nie przenoszą ścinania), oraz prostokątnych klinów. Belka leży na 2 podporach oddalonych od siebie o 6 m i obciążona jest w środku przęsła siłą 60 kN. Określić rozmiary *c* i liczbę klinów *n*, jeśli R_d = 7 MPa (na docisk), R_t = 1.5 MPa (na ścinanie).



$$Q = \text{const} = \pm 30\text{kN}, \quad S_y = 20 \cdot 24 \cdot 13 = 6240\text{cm}^3, \quad J_y = \frac{20 \cdot 50^3}{12} - \frac{20 \cdot 2^3}{12} = 208000\text{cm}^4$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \frac{QS_y(z=0)}{J_y b} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 6240 \cdot 10^{-6}}{208000 \cdot 10^{-8} \cdot 0.2} = 0.45\text{MPa}$$

Całkowita siła rozwarstwiająca w belce $T = t_R l = \tau_{xz} bl = 540$ kN.

Ilość klinów obliczamy z warunku na dopuszczalne naprężenia ściskające:

$$\sigma_d = \frac{T}{nF_d} \le R_d, \quad \Rightarrow \quad n = \frac{T}{R_d F_d} = 12.38, \text{ przyjmujemy 13 klinów}$$

Rozmiar *c* klinów przyjmujemy z warunku na dopuszczalne naprężenia ścinające::

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \tfrac{3}{2}\frac{T}{ncb} \le R_t, \quad \Rightarrow \quad c = \tfrac{3}{2}\frac{T}{nR_t b} \approx 21 \text{ cm}$$

14 odcinków *(a-c)* między klinami i na zewnątrz belki daje: *(a-c)* = (600-13×21)/14 = 23.3 > 21 cm, a więc materiał belki również nie ulegnie ścięciu dla a = 21 + 23.3 = 44.3 cm.

Przykład - blachownica

Sprawdzić wytrzymałość spawanej belki, leżącej swobodnie na 2 podporach i obciążonej obciążeniem ciągłym 40 kN/m na całej długości, oraz 2 siłami P = 480 kN przyłożonymi w odległości 1 m od podpór. Długość belki wynosi 8 m, R = 160 MPa, R_t = 100 MPa, wysokość każdej ze spoin pachwinowych h = 0.7 x 5 mm. Przekrój poprzeczny dwuteowy jak na rysunku (wymiary w mm).
M_{max} = 800 kNm, Q_{max} = 640 kN,
momenty statyczne: półki S_y = 1970 cm^3, 1/2 przekroju S_y = 2930 cm^3,
moment bezwładności J_y = 214000 cm^4, W_y = 5100 cm^3.
Sprawdzenie wytrzymałości przekroju:

a) naprężenia normalne: $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} = 157 \text{ MPa} < R$

b) naprężenia styczne: $\tau_{\max} = \dfrac{Q_{\max} S_y(z=0)}{J_y b} = 71.2 \text{ MPa} < R_t$

c) ścięcie spoiny: $\tau = \dfrac{QS_y(z=380)}{J_y 2 \cdot 0.7 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 84.17 \text{ MPa} < R_t$.

Połączenia nitowane

Podobnie projektujemy połączenia nitowane, sprawdzając: przekrój belki na naprężenia normalne (od zginania), przekrój belki na naprężenia styczne (od siły poprzecznej), nity na docisk (od siły przenoszonej przez nit), nity na ścinanie (j.w.), materiał łączony na ścinanie nitami (j.w.), materiał łączony na docisk (jak dla nitów), materiał łączony na rozerwanie (osłabiony otworami na nity). Zależnie od charakteru pracy rozróżniamy nity jedno-, dwu- i wielocięte.