

MUROTHERM



INFORMATOR OBLICZENIOWY

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie.....	1
Podstawa do obliczeń	1
Założenia obliczeniowe	1
Algorytm obliczeń	2
1.Nośność żebra stropu na zginanie (wg PN-EN 15037-1, Załącznik E, Pkt. E.3)	2
2.Nośność żebra stropu na ścinanie poprzeczne (wg PN-EN 1992-1-1, Pkt. 6.6.2)	2
3.Nośność żebra stropu na ścinanie podłużne (wg PN-EN 1992-1-1, Pkt. 6.2.5)	3
4. Sprawdzenie ugięcia żebra stropowego (wg PN-EN 15037-1, Załącznik E.4.2.3.2)	3

Wprowadzenie

Podstawa do obliczeń

Obliczenia przeprowadza się na podstawie algorytmu zawartego w pracy pt. „Analiza pracy systemu stropowego MURATHERM wraz z wytycznymi dla projektantów tego typu stropów” opracowanego przez Instytut materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki pod autorstwem dr inż. W. Derekowskiego na zlecenie Poz Bruk Sp. z o.o. S.K.A

Założenia obliczeniowe

Analizę obliczeniową stropu sprowadzono do analizy pracy pojedynczego żebra stropowego, ukształtowanego przez ułożenie pustaków po obu stronach prefabrykowanej belki SBS i ułożenie betonu uzupełniającego do nominalnej wysokości płyty stropowej (typowe żeberko wewnętrzne w płycie stropowej). Przypadki skrajnych żeber w płycie stropowej nie były przedmiotem analiz obliczeniowych (są to przypadki mniejszego wyężenia żebra), jednakże możliwe są takie analizy według modelu analogicznego do przedstawiono poniżej.

W analizie pracy żebra stropowego przyjęto następujące parametry i założenia:

- sprężenie belek SBS wykonano dwoma lub trzema splotami Y1860 S7 (średnica ok. 12,5 mm) o niskiej relaksacji (klasa relaksacji: 2);
- siła naciągowa przypadająca na jeden splot sprężający wynosi 50 kN;
- przekazanie siły sprężającej na beton następuje nie wcześniej niż po osiągnięciu wytrzymałości betonu na ściskanie 42,5 MPa;
- straty siły sprężającej wyznaczono w sposób dokładny zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 1992-1-1:2008 (możliwe jest też przyjęcie przybliżone wielkości strat siły sprężającej wg wytycznych norm PN-EN 13369:2004 lub PN-EN 15037-1:2008);
- prefabrykowane belki SBS wykonano z betonu klasy C40/50;
- beton uzupełniający wykonano z betonu klasy C20/25;
- właściwości betonu i stali sprężającej przyjęto zgodnie z PN-EN 1992-1-1:2008;

Algorytm obliczeń

1. Nośność żebra stropu na zginanie (wg PN-EN 15037-1, Załącznik E, Pkt. E.3)

$$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_r} \cdot F_A \cdot \left(d - \frac{1}{2} \frac{F_A}{b_{eff} \cdot f_{cd}} \right) \quad [\text{wzór 1}]$$

gdzie:

- γ_r - ogólny współczynnik bezpieczeństwa momentu granicznego,
- $F_A = N \cdot n_p \cdot F_{pk}$ - siła niszcząca przekroju żebra stropowego (ilość belek * ilość cięgien w belce * siła niszcząca),
- d - wysokość użyteczna przekroju (wysokość systemu stropowego - środek ciężkości splotów od dolnej krawędzi),
- b_{eff} - szerokość współpracująca płyty (wg PN-EN 15037-1 Załącznik E, pkt. E.2.2),
- f_{cd} - wytrzymałość obliczeniowa nadbetonu na ściskanie (najłagodniejszy materiał w przekroju)

Warunek sprawdzający

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

gdzie:

- M_{Ed} - obliczeniowa wartość momentu zginającego w przęśle.

2. Nośność żebra stropu na ścinanie poprzeczne (wg PN-EN 1992-1-1, Pkt. 6.6.2)

Nośność na ścinanie w strefach zarysowanych przez zginanie.

$$V_{Rd.c1} = \left[C_{Rd.c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{MPa} \right)^{1/3} MPa + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d \quad [\text{wzór 2}]$$

$$V_{Rd.c2} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w \cdot d \quad [\text{wzór 3}]$$

$$V_{Rd.c} = \max(V_{Rd.c1}, V_{Rd.c2}) \quad [\text{wzór 4}]$$

gdzie:

- $C_{Rd.c}, k, k_1$ - współczynniki, wartości zalecane przez Normę,
- ρ_l - stopień zbrojenia,
- f_{ck} - wytrzymałość charakterystyczna prefabrykatu na ściskanie,
- σ_{cp} - naprężenie ściskające w betonie na poziomie środka ciężkości przekroju wywołane przez sprężenie,

- b_w - szerokość środka / środków belki,
- d - wysokość użyteczna przekroju (wysokość systemu stropowego - środek ciężkości splotów od dolnej krawędzi),
- v_{min} - wg wzoru: $0.035 \cdot k^{(3/2)} \cdot (f_{ck}/MPa)^{0.5}$

Warunek sprawdzający

$$V_{Ed} \leq V_{Rd.c}$$

gdzie:

- V_{Ed} - obliczeniowa wartość siły poprzecznej w obszarach zarysowanych przez zginanie, np. nad podporą środkową stropu dwuprzęsłowego.

Nośność na ścinanie w strefach niezarysowanych przez zginanie.

$$V_{Rd.c3} = \frac{I_{csz} \cdot b_w}{S_1} \cdot \sqrt{f_{ctd}^2 + \alpha_l \cdot \sigma_{cp} \cdot f_{ctd}} \quad [\text{wzór 5}]$$

gdzie:

- I_{csz} - sprowadzony moment bezwładności żebra stropowego SBS,
- b_w - szerokość środka / środków belki,
- S_1 - moment statyczny pola przekroju ponad osią przechodzącą przez środek ciężkości względem tej osi,
- f_{ctd} - obliczeniowa wytrzymałość prefabrykatu na rozciąganie,
- α_l - współczynniki, wartości zalecane przez Normę,
- σ_{cp} - naprężenie ściskające w betonie na poziomie środka ciężkości przekroju wywołane przez sprężenie,

Warunek sprawdzający

$$V_{Ed} \leq V_{Rd.c3}$$

gdzie:

- V_{Ed} - obliczeniowa wartość siły poprzecznej w obszarach nie zarysowanych przez zginanie, np. nad podporami skrajnymi.

3. Nośność żebra stropu na ścinanie podłużne (wg PN-EN 1992-1-1, Pkt. 6.2.5)

Nośność na ścinanie podłużne wzdłuż linii najmniejszej wytrzymałości 1-1 (przy założeniu pracy połowy długości fali)

$$V_{Rd1} = 0.5(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n) \quad [\text{wzór 6}]$$

gdzie:

- c, μ - współczynniki zależne od szorstkości płaszczyzny zespolenia $c = 0.43, \mu = 0.7$,
- f_{ctd} - wytrzymałość obliczeniowa nadbetonu na rozciąganie,
- σ_n - naprężenia normalne do powierzchni styku (dodatnie przy ściskaniu i ujemne przy rozciąganiu), nie większe od $0.6f_{cd}$, wywołane przez najmniejsze obciążenie zewnętrzne powierzchni zespolenia, które zawsze działa jednocześnie z siłą ścinającą styk

Warunek sprawdzający

$$\tau_{xy1} = \frac{S_{11} \cdot V_{Ed}}{b_1 \cdot I_{csz}} \leq V_{Rd1}$$

gdzie:

- τ_{xy1} - naprężenia styczne w osi 1-1,
- S_{11} - moment statyczny pola przekroju ponad osią 1-1,
- V_{Ed} - obliczeniowa, maksymalna wartość siły poprzecznej,
- b_1 - szerokość linii o najmniejszej wytrzymałości 1-1,
- I_{csz} - sprowadzony moment bezwładności żebra stropowego SBS

Nośność na ścinanie podłużne belki prefabrykowanej (linia 2-2)

$$V_{Rd2} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n \quad [\text{wzór 7}]$$

gdzie:

- c, μ - współczynniki zależne od szorstkości płaszczyzny zespolenia $c = 0.62, \mu = 1.0$,
- f_{ctd} - wytrzymałość obliczeniowa belki prefabrykowanej na rozciąganie,
- σ_n - naprężenia normalne do powierzchni styku (dodatnie przy ściskaniu i ujemne przy rozciąganiu), nie większe od $0.6f_{cd}$, wywołane przez najmniejsze obciążenie zewnętrzne powierzchni zespolenia, które zawsze działa jednocześnie z siłą ścinającą styk

Warunek sprawdzający

$$\tau_{xy2} = \frac{S_{22} \cdot V_{Ed}}{b_2 \cdot I_{csz}} \leq V_{Rd2}$$

gdzie:

- τ_{xy2} - naprężenia styczne w osi 2-2,
- S_{22} - moment statyczny pola przekroju ponad osią 2-2,
- V_{Ed} - obliczeniowa, maksymalna wartość siły poprzecznej,
- b_2 - szerokość środkowa / średników belki,
- I_{csz} - sprowadzony moment bezwładności żebra stropowego SBS

4. Sprawdzenie ugięcia żebra stropowego (wg PN-EN 15037-1, Załącznik E.4.2.3.2)

Wyznaczenie momentu rysującego

$$M_{cr} = W_{csz} \left[f_{ctm} + \frac{r_{inf} P_{mt}}{A_{cs}} + \frac{r_{inf} P_{mt} z_{cp}}{I_{cs}} \cdot \nu_{cs} \right] \quad [\text{wzór 8}]$$

gdzie:

- W_{csz} - wskaźnik wytrzymałości żebra dla włókien dolnych,
- f_{ctm} - średnia wytrzymałość belki SBS na rozciąganie,
- r_{inf} - współczynnik (wg PN-EN 1992-1-1, Pkt. 5.10.9),
- P_{mt} - średnia wartość naprężeń po czasie t (50 lat),
- A_{cs} - powierzchnia sprowadzona pojedynczej belki SBS (beton + sploty),
- I_{cs} - sprowadzony moment bezwładności pojedynczej belki SBS (beton + sploty),
- z_{cp} - odległość środka ciężkości cięgien od środka ciężkości przekroju belki SBS,
- ν_{cs} - położenie środka ciężkości przekroju sprowadzonego pojedynczej belki SBS

Ugięcie całkowite

$$f = f_t - f_{mont} \quad [\text{wzór 10}]$$

gdzie:

- f_t - czynne ugięcie,
- f_{mont} - odwrotna strzałka ugięcia wprowadzona podczas montażu L/300

Czynne ugięcie

$$f_t = w_t - w_a \quad [\text{wzór 11}]$$

$$w_t = \frac{L^2}{8k_a E_{c,eff}} \left[\frac{(1-\zeta_t)}{I_{csz}} + \frac{\zeta_t}{I_{cszII}} \right] \left[(g_1 + g_2 + \Delta g + \frac{1}{2}g + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3}g) \frac{aL^2}{9,6} \right] + \frac{\epsilon_{cs} L^2}{8d} \quad [\text{wzór 12}]$$

$$w_a = w_1 + \psi(w_2 - w_1) \quad [\text{wzór 13}]$$

$$w_1 = \frac{L^2}{8k_a E_{cm,n}} \left[\frac{(1-\zeta)}{I_{csz}} + \frac{\zeta}{I_{cszII}} \right] \left[(g_1 + g_2 + \Delta g + \frac{1}{2}g) \frac{aL^2}{9,6} \right] + \frac{2}{5} \frac{\epsilon_{cs} L^2}{8d} \quad [\text{wzór 14}]$$

