KONSTRUKCJE BETONOWE

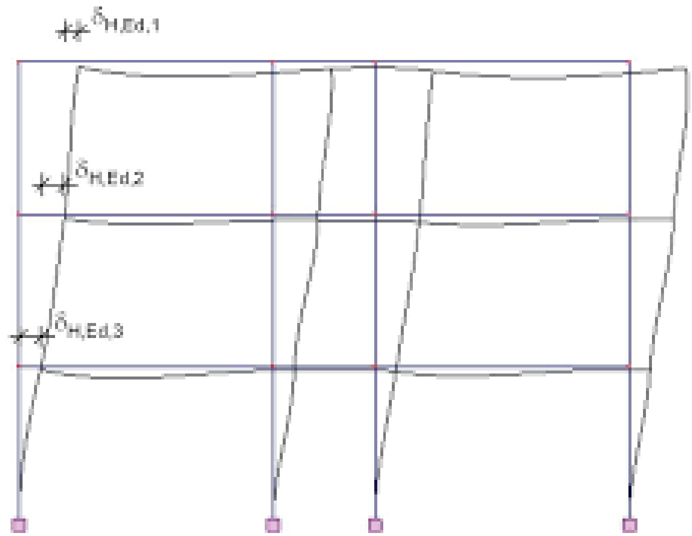
PROJEKT ŻELBETOWEJ HALI PRZEMYSŁOWEJ O KONSTRUKCJI SŁUPOWO-RYGLOWEJ

SŁUP – EFEKTY II RZĘDU

METODY

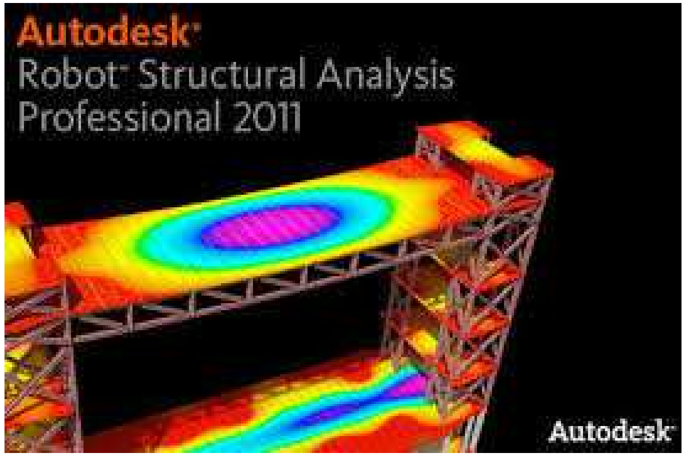
Metody uwzględnianie efektów II rzędu:

- metoda ogólna
- metoda nominalnej sztywności
- metoda nominalnej krzywizny



METODA OGÓLNA

Metoda ogólna:



- analiza nieliniowa
- uwzględnienie imperfekcje geometrycznych
- metoda elementów skończonych
- programy obliczeniowe

METODA NOMINALNEJ SZTYWNOŚCI

Metoda nominalnej sztywności:

- nominalne wartość sztywności na zginanie
- wpływ zarysowania, nieliniowości materiałowej i pełzania
- uwzględnienia współpracy podłoże-konstrukcja
- elementy przylegające do konstrukcji: belki, płyty i fundamenty

METODA NOMINALNEJ SZTYWNOŚCI

Nominalna sztywność:

$$EI = K_c E_{cd} I_c + K_s E_s I_s$$

w którym:

E_{cd} jest obliczeniową wartością modułu sprężystości betonu, patrz 5.8.6(3),
I_c jest momentem bezwładności przekroju betonu,
E_s jest obliczeniową wartością modułu sprężystości zbrojenia, 5.8.6(3),
I_s jest momentem bezwładności pola przekroju zbrojenia względem środka ciężkości powierzchni betonu,
K_c jest współczynnikiem zależnym od wpływów zarysowania, pełzania itd., patrz 5.8.7.2 (2) lub (3),
K_s jest współczynnikiem zależnym od udziału zbrojenia, patrz 5.8.7.2 (2) lub (3).

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{CE}} \qquad (5.20)$$

Uwaga: Wartość γ_{CE} do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną jest 1,2.

METODA NOMINALNEJ SZTYWNOŚCI

Jeżeli $\rho \geq 0{,}002$, to w wyrażeniu (5.21) można stosować następujące współczynniki:

$$K_s = 1{,}0$$

$$K_c = \frac{k_1 k_2}{1+\varphi_{ef}}$$

W powyższych wzorach:

ρ jest stopniem zbrojenia, A_s/A_c,
A_s jest całkowitą powierzchnią przekroju zbrojenia,
A_c jest powierzchnią przekroju betonu,
φ_{ef} jest efektywnym współczynnikiem pełzania, patrz 5.8.4,
k_1 jest współczynnikiem zależnym od klasy wytrzymałości betonu wg wzoru (5.23),
k_2 jest współczynnikiem zależnym od siły podłużnej i smukłości wg wzoru (5.24):

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} \quad \text{(MPa)}$$

$$k_2 = n\frac{\lambda}{170}, \text{ lecz nie więcej niż } 0{,}20$$

n jest względną siłą podłużną $N_{Ed}/(A_c f_{cd})$,
λ jest smukłością, patrz 5.8.3.

Jeśli smukłość λ nie jest określona, to można przyjąć:

$$k_2 = 0{,}30\, n, \text{ lecz nie więcej niż } 0{,}20.$$

METODA NOMINALNEJ SZTYWNOŚCI

Jeżeli $\rho \geq 0{,}01$, to jako uproszczenie, można we wzorze (5.21) zastosować następujące współczynniki:

$$
\begin{aligned}
K_s &= 0 \\
K_c &= \frac{0,3}{1+0,5\varphi_{ef}}
\end{aligned}
\qquad (5.26)
$$

METODA NOMINALNEJ KRZYWIZNY

Metoda nominalnej krzywizny:

- stała siła normalna
- określona długość efektywna
- określenie efektów na podstawie ugięcia
- ugięcia na podstawie długości efektywnej i nominalnej krzywizny

METODA NOMINALNEJ KRZYWIZNY

Nominalna krzywizna:

(1) Do elementów o stałym symetrycznym przekroju poprzecznym (uwzględniając zbrojenie) można stosować wzór:

$$\frac{1}{r} = K_r K_\varphi \frac{1}{r_0} \qquad (5.34)$$

w którym:

K_r jest współczynnikiem poprawkowym zależnym od siły podłużnej, patrz 5.8.3.3(3),

K_φ jest współczynnikiem zależnym od pełzania, patrz 5.8.3.3 (4),

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45\,d} \qquad \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$$

d jest wysokością użyteczną przekroju, patrz także 5.8.8.3(2).

(2) Jeżeli zbrojenie nie jest zgrupowane po przeciwnych stronach przekroju, a jego część jest rozłożona wzdłuż wysokości przekroju, równolegle do płaszczyzny zginania, to wartość d określa się ze wzoru:

$$d = 0,5h + i_s \qquad (5.35)$$

w którym i_s jest promieniem bezwładności całego pola zbrojenia.

METODA NOMINALNEJ KRZYWIZNY

Współczynnik poprawkowy zależny od siły podłużnej:

(3) Wartość K_r w wyrażeniu (5.34) wyznacza się ze wzoru:

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}}\text{, lecz nie więcej niż } 1{,}0 \qquad (5.36)$$

w którym:

$n = \dfrac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$ jest względną siłą podłużną,

N_{Ed} jest wartością obliczeniową siły podłużnej,

$$n_u = 1 + \omega$$

n_{bal} jest wartością n, dla której osiąga się maksymalny moment graniczny; można przyjmować $n_{bal} = 0{,}4$,

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

A_s jest polem przekroju zbrojenia (całego),

A_c jest polem przekroju poprzecznego betonu.

METODA NOMINALNEJ KRZYWIZNY

Współczynnik poprawkowy zależny od pełzania:

(4) Wpływ pełzania należy uwzględniać stosując współczynnik K_φ według wzoru:

$$K_\varphi = 1 + \beta\,\varphi_{ef}, \text{ lecz nie mniej niż } 1{,}0 \qquad (5.37)$$

w którym:

φ_{ef} jest efektywnym współczynnikiem pełzania, patrz 5.8.4,

$$\beta = 0{,}35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150}$$

λ jest smukłością, patrz 5.8.3.1.

POWIĘKSZENIE MOMENTU

Współczynnik powiększenia momentu:

(1) Całkowity moment obliczeniowy, zawierający moment drugiego rzędu, można przedstawić jako powiększony moment zginający wynikający z analizy pierwszego rzędu, stosując wzór:

$$M_{Ed} = M_{0Ed}\left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1}\right) \tag{5.28}$$

w którym:

- M_{0Ed} jest momentem pierwszego rzędu, patrz także 5.8.8.2(2),
- β jest współczynnikiem zależnym od rozkładu momentów pierwszego i drugiego rzędu, patrz 5.8.7.3 (2)-(3),
- N_{Ed} jest obliczeniową wartością siły podłużnej,
- N_B jest siłą krytyczną ze względu na wyboczenie, obliczoną przy założeniu, że sztywność jest równa nominalnej.

POWIĘKSZENIE MOMENTU

Współczynnik powiększenia momentu:

(2) W elementach wydzielonych o stałym przekroju, przy stałej sile podłużnej zwykle można przyjąć sinusoidalny rozkład momentu drugiego rzędu. Wtedy:

$$\beta = \frac{\pi^2}{c_0} \tag{5.29}$$

c_0 jest współczynnikiem zależnym od rozkładu momentu pierwszego rzędu (np. $c_0 = 8$ gdy moment pierwszego rodzaju jest stały, $c_0 = 9{,}6$ gdy ma rozkład paraboliczny, $c_0 = 12$ gdy ma symetryczny rozkład trójkątny, itd.).

(3) W elementach bez obciążenia poprzecznego, różniące się momenty pierwszego rzędu na końcach elementu M_{01} i M_{02} można zastąpić ekwiwalentnym momentem pierwszego rzędu M_{0e}, zgodnie z 5.8.8.2(2). Konsekwentnie należy przyjąć $c_0 = 8$, jak dla momentu stałego na całej długości.

Uwaga: Wartość $c_0 = 8$ stosuje się także do elementów zginanych ukośnie. Należy zauważyć, że w niektórych przypadkach, w zależności od smukłości i siły podłużnej, momenty na końcach mogą być większe niż powiększony moment ekwiwalentny.

POWIĘKSZENIE MOMENTU

Moment II rzędu:

(1) Moment obliczeniowy wyznacza się ze wzoru:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \tag{5.31}$$

w którym:

M_{0Ed} jest momentem pierwszego rzędu zawierającym wpływ imperfekcji, patrz także 5.8.8.2(2),

M_2 jest nominalnym momentem drugiego rzędu, patrz 5.8.8.2 (3).

POWIĘKSZENIE MOMENTU

Moment II rzędu:

Nominalny moment drugiego rzędu M_2 w wyrażeniu (5.31) oblicza się ze wzoru:

$$M_2 = N_{Ed}\, e_2$$

w którym:

N_{Ed} jest wartością obliczeniową siły podłużnej,

e_2 jest ugięciem według wzoru:

$$e_2 = \frac{1}{r}\frac{l_0^2}{c}$$

EFEKTY DRUGIEGO RZĘDU

Efekty drugiego rzędu:

kryterium uproszczone - metoda nominalnej sztywności

$$EJ = K_c \cdot E_{cd} \cdot J_c + K_S \cdot E_S \cdot J_S$$

E_{cd} - obliczeniowa wartość modułu sprężystości betonu

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}}$$

γ_{cE}=1.2; $E_{cd} = \frac{30000}{1.2} = 25000\,MPa$

dla $\rho = \frac{A_s}{A_c} \geq 0{,}01$ można przyjmować następujące

współczynniki: $K_s = 0;$

K_S - współczynnik zależny od udziału zbrojenia

$$K_c = \frac{0{,}3}{1+0{,}5\varphi_{ef}}$$

EFEKTY DRUGIEGO RZĘDU

K_c - współczynnik zależny od wpływów zarysowania, pełzania, itd.

$$K_c = \frac{0{,}3}{1+0.5\cdot 2.0} = 0{,}15,$$

$I_s = \rho \cdot b \cdot d \cdot \left(\frac{h}{2} - a\right)^2$, w pierwszym kroku iteracji założono

ρ=0.0163=1.63%

I_s – moment bezwładności przekroju zbrojenia względem środka ciężkości przekroju betonu

$$I_s = 0.0139 \cdot 300 \cdot 500 \cdot \left(\frac{450}{2} - 50\right)^2 = 63853125\text{mm}^4$$

$$EJ = 0.15 \cdot 25000 \cdot 3125000000 + 0 \cdot 200000 \cdot 63853125 =$$
$$= 1{,}17 \cdot 10^{13} \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^2]$$

EFEKTY DRUGIEGO RZĘDU

Współczynnik powiększenia momentu:

Całkowity moment obliczeniowy zawierający moment drugiego rzędu można przedstawić jako powiększony moment zginający wynikający z analizy pierwszego rzędu, stosując wzór:

$$M_{Ed} = M_{0Ed}\left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1}\right)$$

czyli:

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot p_M \qquad p_M = 1 + \frac{\beta}{\frac{N_B}{N_{Ed}} - 1};$$

N_{Ed} – obliczeniowa wartość siły podłużnej,

N_B – siła krytyczna ze względu na wyboczenie, obliczona przy założeniu, że sztywność jest równa nominalnej

EFEKTY DRUGIEGO RZĘDU

$$\beta = \frac{\pi^2}{9.6} \approx 1{,}03$$

$$M_{0Ed} = 199{,}20 kNm$$

$$N_B = N_{kr}^{Eul}(EJ) = \frac{\pi^2 EJ}{l_0^2} = \frac{\pi^2}{(6000)^2} 1{,}17 \cdot 10^{13} =$$

$$3204370 N = 3204{,}37 kN$$

$$\rho_M = 1 + \frac{1{,}03}{\frac{3204{,}37}{800} - 1} = 1.03$$

$$M_{Ed} = 1{,}03 \cdot 199{,}2 = 205{,}18 kNm$$

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!

Prezentowane materiały są utworami w rozumieniu prawa autorskiego i podlegają jego ochronie. Zabronione jest ich kopiowanie – w całości lub we fragmencie - i dalsze rozpowszechnianie bez pisemnej zgody autora. Materiały te są udostępniane studentom nieodpłatnie i nie mogą być przedmiotem jakiejkolwiek działalności komercyjnej.