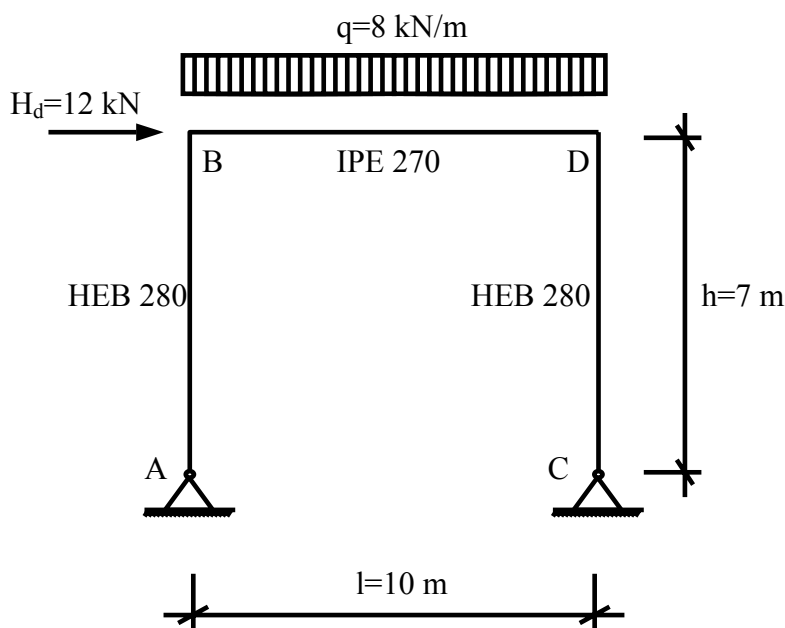


4.1.1

4.1.1 Merevítetlen, nem kilengő keret

Ellenőrzendők az 1. ábrán látható keret elemei. Tervezési terhek: $q_d = 8$ kN/m és $H_d = 12$ kN. A csomópontoknak a síkból való kilépését meggátolták. Anyagminőség: S 235.



1. Ábra A keret méretei és terhelése

Keresztmetszeti adatok:

IPE 270: $A=45,94 \text{ cm}^2$; $I_b=5790 \text{ cm}^4$; $W_{pl,y}=484 \text{ cm}^3$
HEB 280: $A=131 \text{ cm}^2$; $I_y=I_c=19270 \text{ cm}^4$; $i_y=12,1 \text{ cm}$
 $I_z=7,09 \text{ cm}^4$; $W_{pl,y}=1534 \text{ cm}^3$; $W_{el,y}=1376 \text{ cm}^3$
 $I_z=6595 \text{ cm}^4$; $I_t=143,7 \text{ cm}^3$; $I_w=1130 \cdot 10^3 \text{ cm}^6$

1. A keret osztálybesorolása

5.2.5.3

1.1 A keret *merevített* osztálybesorolásának ellenőrzése

A keret nyilvánvalóan *merevítetlen*, hiszen semmilyen hosszkötés vagy stabilizálóelem sem található, amely a keret vízszintes eltolódásait csökkentené.

1.2 Merevség szerinti osztálybesorolás

5.2.5.2

$$k = \frac{I_b}{I_c} \frac{h}{l} = \frac{5790}{19270} \cdot \frac{7}{10} = 0,210$$

A keretfejnél ható $H = 1$ kN vízszintes erő hatására számított keretfej-eltolódás:

$$\delta = \frac{h^3}{12EI_c} \frac{2k+1}{k} H = \frac{700^3}{12 \cdot 2,1 \cdot 10^4 \cdot 19270} \frac{2 \cdot 0,210 + 1}{0,210} \cdot 1 = 0,478 \text{ cm}$$

A függőleges terhek összege:

$$V = q_d l = 8 \cdot 10 = 80 \text{ kN}$$

Merevségellenőrzés az (5.6) összefüggés segítségével:

$$\frac{\delta V}{hH} = \frac{0,478 \cdot 80}{700 \cdot 1} = 0,0546 < 0,1$$

(5.6) képlet

A keret tehát *nem-kilengő*.

1.3 Egyéb számítási módszerek

5.2.1.2.

- Ha a keret *nem-kilengő*, akkor alkalmazható az elsőrendű rugalmas elmélet.
- Alkalmazható egy egyszerűsített másodrendű elmélet is a Dischinger-tényezők felhasználásával (ha ilyen számítás *kilengő* keretekre megengedett, akkor nyilvánvalóan megengedett *nem-kilengő* keretekre is). Ebben az esetben az oszlopok síkbeli kihajlásvizsgálatát a *nem-kilengő* keretszerkezet kihajlási hosszaival kell elvégezni.
- Végül a pontos másodrendű elmélet is alkalmazható.

(2) b

5.2.6.2. (1)
a

5.2.6.2. (7)

5.2.1.2. (3)

5.5.1.5. (49)

2. Elsőrendű elmélet szerinti számítás

2.1 Imperfekciók

Az alakhibákat ϕ kezdeti ferdeség formájában vesszük fel:

(5.2) képlet

$$\phi = k_c k_s \phi_0$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

$$k_c = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_c}} = \sqrt{0,5 + \frac{1}{2}} = 1$$

$$k_s = \sqrt{0,2 + \frac{1}{n_s}} = \sqrt{0,2 + \frac{1}{1}} = 1,10 > 1$$

tehát $k_s = 1$.

4.1.1

Végül $\varphi = 1 \cdot 1 / 200 = 1/200$

Az alakhiba helyén felvesszünk egy helyettesítő vízszintes erőt:

$$\Delta H_d = \varphi V = \frac{1}{200} \cdot 80 = 0,40 \text{ kN}$$

így a vízszintes összevált:

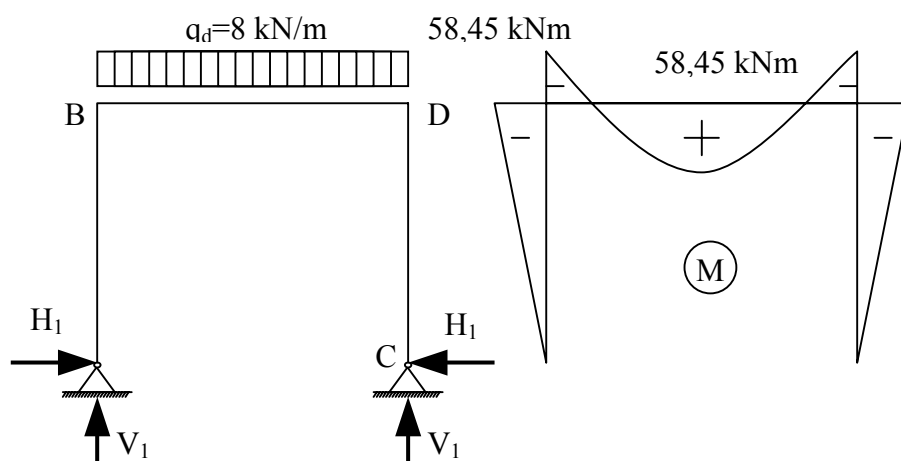
$$H_{sd} = H_d + \Delta H_d = 12 + 0,40 = 12,4 \text{ kN}$$

2.2 Statikai számítás

$$H_1 = \frac{q_d l^2}{4h(2k+3)} = \frac{8 \cdot 10^2}{4 \cdot 7 \cdot (2 \cdot 0,210 + 3)} = 8,35 \text{ kN}$$

$$V_1 = \frac{q_d l}{2} = \frac{8 \cdot 10}{2} = 40 \text{ kN}$$

$$M_{B1} = M_{D1} = -H_1 h = -8,35 \cdot 7 = -58,45 \text{ kNm}$$

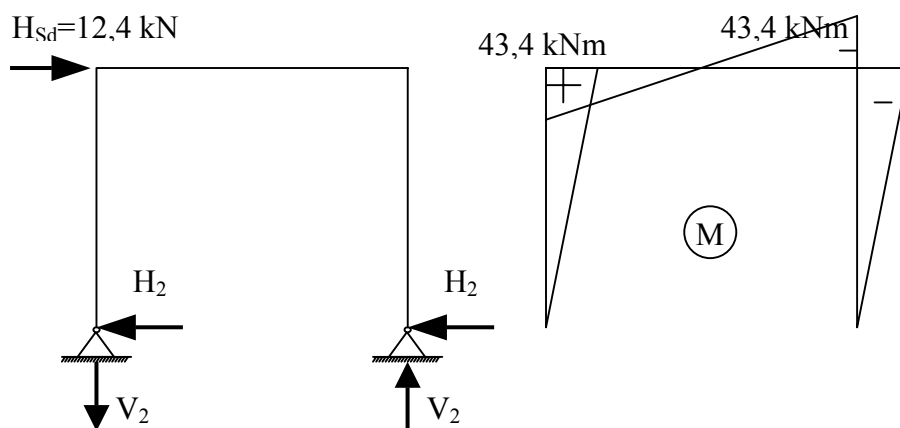


$$H_2 = \frac{H_{sd}}{2} = \frac{12,4}{2} = 6,2 \text{ kN}$$

$$V_2 = H_{sd} \frac{h}{l} = 12,4 \frac{7}{10} = 8,68 \text{ kN}$$

$$M_{B2} = -M_{D2} = H_2 h = 6,2 \cdot 7 = 43,4 \text{ kNm}$$

5.2.3. ábra



2.3 Az oszlop ellenőrzése

A mértékadó "CD" oszlop tervezési igénybevételei:

$$N_{sd} = V_1 + V_2 = 40 + 8,68 = 48,68 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = H_1 + H_2 = 8,35 + 6,2 = 14,55 \text{ kN}$$

$$M_D = -58,45 - 43,4 = -101,85 \text{ kNm}$$

$$M_C = 0$$

2.3.1 Kihajlás a keretsíkban

$$k_c = I_c/h = 19270/700 = 27,53 \text{ cm}^3;$$

$$k_{11} = 1,5I_b/l = 1,5 \cdot 5790/1000 = 8,68 \text{ cm}^3;$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ (csukló);}$$

$$\eta_1 = \frac{k_c}{k_c + k_{11} + k_{12}} = \frac{27,53}{27,53 + 8,68 + 0} = 0,76$$

Kilengő keret:

$$l = 3,4L = 3,4 \cdot 7 = 23,8 \text{ m};$$

$$\lambda_y = 2380/12,1 = 196,6 ;$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1 \epsilon} = \frac{196,6}{93,9 \cdot 1,0} = 2,09$$

$$h/b = 280/280 = 1 < 1,2$$

Kihajlási görbe: "b"; $\chi_y = 0,1937$

E.1. táblázat

E.2. képlet
E.1. képlet

E.2.2. ábra

5.5.1.2. (1)

5.5.3.
táblázat
5.5.2.
táblázat

4.1.1

2.3.2 Kihajlás a keretsíkra merőlegesen

Kihajlási hossz: $l = 7 \text{ m}$;

$$\lambda_z = 700/7,09 = 98,73 ;$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_{1\varepsilon}} = \frac{98,73}{93,9 \cdot 1,0} = 1,051$$

Kihajlási görbe: "c"; $\chi_z = 0,5115$

5.5.1.2. (1)

5.5.3.

táblázat

5.5.2.

táblázat

2.3.3 Ellenőrzés hajlítás és nyomás esetén (elfordulás nincs)

$$\psi = 0;$$

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \cdot 0 = 1,8;$$

5.5.3. ábra

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{M,y} - 4) + \left[\frac{W_{pl,y} - W_{el,y}}{W_{el,y}} \right] = 2,09(2 \cdot 1,8 - 4) + \left[\frac{1534 - 1376}{1376} \right] = 5.5.4. (1)$$

$$= -0,721 < 0,9$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A f_y} = 1 + \frac{0,721 \cdot 48,68}{0,1937 \cdot 131 \cdot 23,5} = 1,059 < 1,5$$

$$\chi_{\min} = \min\{\chi_y, \chi_z\} = \min\{0,1937; 0,5115\} = 0,1937$$

Ellenőrzés:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} = \frac{48,68}{0,1937 \cdot 131 \cdot 23,5 / 1,10} + \frac{1,059 \cdot 10185}{1534 \cdot 23,5 / 1,10} = 5.51)$$
$$= 0,090 + 0,329 = 0,419 < 1$$

2.3.4 Kifordulásvizsgálat (elfordulás van)

Kritikus kifordulási nyomaték:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} \right]^{0,5} = 5.5.4. (1)$$
$$= 1,879 \frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 6595}{700^2} \left[\frac{1130 \cdot 10^3}{6595} + \frac{700^2 \cdot 143,7}{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 6595} \right]^{0,5} = 127038 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{\pi^2 E W_{pl,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 2,1 \cdot 10^4 \cdot 1534}{127038}} = 50,03 \quad (F.13)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \sqrt{\beta_w} = \frac{50,03}{93,9} \cdot \sqrt{1} = 0,533 \quad (F.12)$$

4.1.1

Kihajlási görbe : "a", $\chi_{LT} = 0,913$,

$\beta_{M,LT} = 1,8$ ($\psi = 0$),

$\mu_{LT} = 0,15 \cdot \bar{\lambda}_z \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 \cdot 1,051 \cdot 1,8 - 0,15 = 0,134 < 0,90$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Sd}}{\chi_z A f_y} = 1 - \frac{0,134 \cdot 48,68}{0,5115 \cdot 131 \cdot 23,5} = 0,996 < 1$$

Ellenőrzés:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} = \frac{48,68}{0,5115 \cdot 131 \cdot 23,5 / 1,10} + \frac{0,996 \cdot 101,85}{0,913 \cdot 1534 \cdot 23,5 / 1,10} = 0,034 + 0,339 = 0,373 < 1 \quad (5.52)$$

2.3.5 Keresztmetszet ellenőrzés

A mértékadó "D" keresztmetszet tervezési igénybevételei:

$N_{Sd} = 48,68$ kN; $V_{Sd} = 14,55$ kN; $M_{Sd} = 101,85$ kNm;

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 131,4 - 2 \cdot 28 \cdot 1,8 + (1,05 + 2 \cdot 2,4)1,8 \quad 5.4.6. (2)$$

$$A_v = 41,13 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = 41,13 \frac{\left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1,1} = 507,3 \text{ kN} \quad 5.4.6. (1)$$

$$V_{Sd} = 14,55 \text{ kN} < 0,5V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 507,3 = 253,6 \text{ kN} \quad 5.4.7. (2)$$

Ezért nincs hajlítónyomaték-nyíróerő interakció.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{131 \cdot 23,5}{1,1} = 2798,6 \text{ kN} \quad 5.4.4. (1) a$$

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{48,68}{2798,6} = 0,017$$

$$M_{pl,y,Rd} = 1534 \cdot 23,5 / (1,10 \cdot 100) = 327,7 \text{ kNm}$$

$$M_{Ny,Rd} = 1,1 \cdot M_{pl,y,Rd} (1 - n) = 1,1 \cdot 327,7 (1 - 0,017) = 354,3 \text{ kNm} \quad (5.27)$$

$$M_{Ny,Rd} = 354,3 \text{ kNm} > M_{pl,y,Rd}$$

$$\text{tehát } M_{Ny,Rd} = 327,7 \text{ kNm}$$

Ellenőrzés:

$$M_{Sd} = 101,85 \text{ kNm} < M_{Ny,Rd} = 327,7 \text{ kNm}$$

4.1.1

2.4 A gerenda ellenőrzése

Feltételezzük, hogy a gerenda oldalirányban meg van támasztva, s ezért csak a keresztmetszetét kell ellenőrizni (tehát nem kell elvégezni az elem kifordulásvizsgálatát sem). Mértékadó a "D" keresztmetszet.

Tervezési igénybevételek:

$$M_{Sd} = 101,85 \text{ kNm}; \quad N_{Sd} = 14,55 \text{ kN}; \quad V_{Sd} = 48,68 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 45,94 - 2 \cdot 13,5 \cdot 1,02 + (0,66 + 2 \cdot 1,5)1,02 =$$

$$A_v = 22,13 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{\left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = 22,13 \frac{\left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1,1} = 272,9 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 48,68 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 272,9 = 136,5 \text{ kN}$$

Ennek megfelelően nincs hajlítónyomaték-nyíróerő interakció.

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{45,94 \cdot 23,5}{1,1} = 981,5 \text{ kN}$$

5.4.7. (2)

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} = \frac{14,55}{981,5} = 0,0148$$

5.4.4. (1) a

$$M_{pl,y,Rd} = 484 \cdot 23,5 / (1,10 \cdot 100) = 103,4 \text{ kNm}$$

$$M_{Ny,Rd} = 1,1 \cdot M_{pl,y,Rd} (1 - n) = 1,1 \cdot 103,4 (1 - 0,0148) = 112,1 \text{ kNm} > M_{pl,y,Rd}$$

(5.27)

$$\text{tehát } M_{Ny,Rd} = 103,4 \text{ kNm}$$

Ellenőrzés:

$$M_{Sd} = 101,85 \text{ kNm} < M_{Ny,Rd} = 103,4 \text{ kNm}$$

3. Egyszerűsített számítás a másodrendű elmélet szerint

A statikai számítás csak abban különbözik a 2. pontban leírtaktól, hogy az oldalirányú eltolódások miatt a nyomatékokat meg kell növelni a Dischinger-tényezővel: $1/(1 - V_{Sd}/V_{cr})$.

$$V_{Sd}/V_{cr} = \delta V/hH = 0,0546$$

(5.8) képlet

(l. a jelen példa 1.2 pontját), így a növelő tényező: $1/(1 - 0,0546) = 1,06$.

Ezt a tényezőt csak a H_{Sd} tehernél kell alkalmazni.

3.1 A "CD" oszlop ellenőrzése

A "CD" oszlop nyomatókai:

$$M_D = -58,45 - 1,06 \cdot 43,4 = -104,5 \text{ kNm}, M_C = 0$$

A megnövelt kilengési nyomatók használata esetén a keret síkjában a keretszerkezet *nem-kilengő* tönkremeneteli módjához tartozó kihajlási hosszak használhatók.

5.2.6.2. (7)

$$k_c = 27,53 \text{ cm}^3 \text{ (l. 2.3.1 pont);}$$

$$k_{11} = I_b/l = 5790/1000 = 5,79 \text{ cm}^3;$$

$$\eta_2 = 1, \text{ (csukló);}$$

E.1. táblázat

$$\eta_1 = \frac{27,53}{27,53 + 5,79} = 0,826$$

(5.2)

A *nem - kilengő* tartón :

$$l = 0,93L = 0,93 \cdot 7 = 6,51 \text{ m}$$

E.2.1. ábra

A kihajlásvizsgálat további számítási menete megegyezik a 2.3.1 – 2.3.3 pontban közöltekkel. Ezért itt - részletszámítások nélkül - csak az eredményeket közöljük.

$$\lambda_y = 651 / 12,1 = 53,8;$$

$$\bar{\lambda}_y = 53,8 / 93,9 = 0,573;$$

$$\chi_{y^{(b)}} = 0,8498;$$

$$\mu_y = -0,573 \cdot 0,4 + 158/1376 = -0,1144 < 0,9;$$

$$k_y = 1 + \frac{0,1144 \cdot 28,68}{0,8498 \cdot 130 \cdot 23,5} = 1,002 < 1,5;$$

$$\chi_{\min} = 0,5115$$

Ellenőrzés:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} = \frac{48,68}{0,5115 \cdot 131 \cdot 23,5/1,1} + \frac{1,002 \cdot 10450}{1534 \cdot 23,5/1,1} = \quad (5.51)$$

$$= 0,034 + 0,320 = 0,354 < 1$$

Megállapítjuk, hogy a másodrendű elmélet szerinti egyszerűsített számítás kedvezőbb eredményeket ad.

3.2 A keretgerenda ellenőrzése

Maximális gerendanyomaték:

$$M_D = -104,5 \text{ kNm (ugyanakkora nyomaték, mint az oszlopon).}$$

4.1.1

A gerenda ellenőrzése:

$$M_{N_y, Rd} = 103,4 \text{ kNm} < M_{Sd} = 104,5 \text{ kNm} \text{ (1 \% -os túllépés).}$$

Megállapítjuk, hogy az egyszerűsített másodrendű elmélet alkalmazásával kedvezőtlenebb eredményeket kaptunk, ugyanis

$$M_{Sd} / M_{N_y, Rd} = 104,5 / 103,4 = 1,011,$$

míg elsőrendű elmélet alkalmazása esetén a megfelelő hányados értéke:

$$M_{Sd} / M_{N_y, Rd} = 101,85 / 103,4 = 0,985.$$

4. Másodrendű elmélet szerinti számítás

4.1 Imperfekciók

Kétféle alakhibát veszünk figyelembe: a tartószerkezet alakhibáját és az egyes nyomott elemek (jelen esetben az oszlopok) imperfekcióját.

A keretszerkezet imperfekcióját vagy

$$\varphi = k_c k_s \varphi_0 = 1/200$$

kezdeti ferdeség (l. a példa 2.1 pontját), vagy

$$\Delta H_d = 0,40 \text{ kN}$$

vízszintes helyettesítő teher formájában vesszük figyelembe.

Az oszlopok alakhibája görbeségüket jelenti. Ezek az alakhibák az (5.1)

$$\bar{\lambda} < 0,5 \sqrt{A f_y / N_{Sd}} \quad (5.1)$$

feltétel teljesülése esetén elhanyagolhatók. Az összefüggésben $\bar{\lambda}$ az y-tengelyre vonatkozó, emeletmagasságnyi rúdhosszal számított, viszonyított karcsúságot jelenti:

$$\lambda_y = l / i_y = 700 / 12,1 = 57,85;$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_1 \varepsilon = 57,85 / 93,9 \cdot 1 = 0,62 \quad (5.1)$$

Az (5.1) összefüggés most így alakul:

$$\bar{\lambda} = 0,62 < 0,5 \sqrt{131 \cdot 23,5 / 48,68} = 3,98$$

Másodrendű elmélet alkalmazása esetén tehát semmilyen görbeséget sem kell figyelembe venni. Ebből következik, hogy a szóban forgó példában a másodrendű elmélet pontos és közelítő alkalmazása között nincs különbség.

5.2.4.2. (4)

- **Megjegyzés**

Az EC 3 szövege szerint *nem-kilengő* keretszerkezetek esetében - ilyen az imént tárgyalt példa szerkezete is - nem szükséges az (5.1) egyenlőtlenség teljesülésének vizsgálata, mivel az elemek alakhibáinak hatását csak *kilengő* kereteknél kell figyelembe venni (l. EC 3, 5.2.4.2 (4) bekezdés). Ennek oka az, hogy *nem-kilengő* kereteknél általában nem alkalmazzák a másodrendű elméletet. Ebben a példában mégis ellenőriztük a fent említett feltétel teljesülését, ugyanis elvégeztük a *nem-kilengő* keret másodrendű számítását.