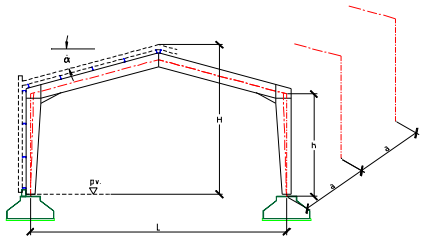
Dr. Németh György
főiskolai docens

# féléves feladat:

# kétcsuklós keretszerkezet tervezése



1

## Elkészítendő feladatrészek

- Vázlatterv
- Terhek meghatározása
- Igénybevételek számítása
- Szilárdsági- és stabilitás vizsgálatok
- Keretsarok vizsgálata
- Illesztések tervezése
- Oszloptalp ellenőrzése
- Főtartószerkezet kiviteli terve

2

## Kiindulási adatok

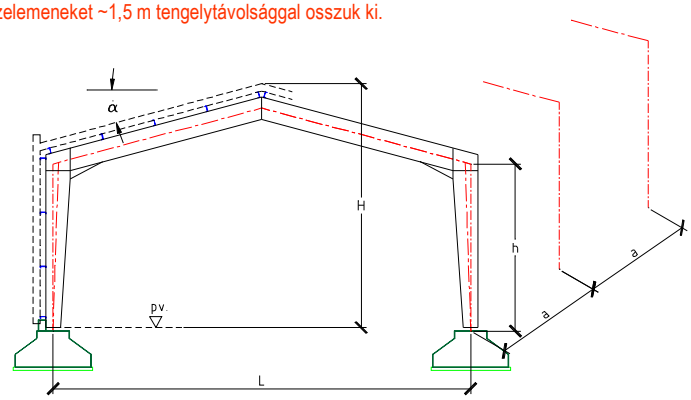
- Geometriai adatok (feladatkiírás szerint)
- Terhek
  - állandó terhek (súlyelemzés szerint);
  - esetleges terhek (csak meteorológiai terhek az MSZ EN 1991-1 szerint).
- Anyagminőség: „S 235”-es szilárdsági csoportból választandó.
- Felhasznált szabványok:
  - MSZ EN 1991-1
  - MSZ EN 1993-1

3

## Geometriai adatok értelmezése

Ebben a feladatban a héjazatot és a szelemeneket nem méretezzük. (Ezek önsúlyát becsléssel határozzuk meg.)

A szelemeneket ~1,5 m tengelytávolsággal osszuk ki.




4

## A hóteher az EC1 szerint

- A felszíni hóteher Magyarországon
  - 400 m-ig ($A_f$) $s_k = 1{,}25\ kN/m^2$
  - 400 m felett: $s_k = 1{,}25 + \frac{A-400}{400}\ \left[kN/m^2\right]$
- A kivételes felszíni hóteher (rendkívüli teher) tervezési értéke*: $s_{Ad} = C_{es1} \cdot s_k = 2{,}0 \cdot s_k$
- Tetők hóterhének karakterisztikus értéke: $s = C_e \cdot C_t \cdot \mu_i \cdot s_k$

*: csak akkor mértékadó, ha $s \geq 0{,}7 g_k$

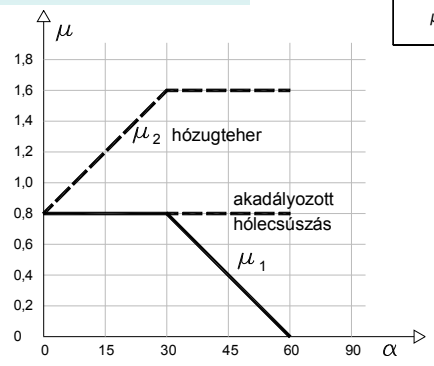
$$1{,}35 \cdot g_k + 1{,}5 \cdot s \leq$$
$$1{,}0 \cdot g_k + 2{,}0 \cdot s$$
$$s \geq 0{,}7 \cdot g_k$$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $C_e$ : a szél hatása | 0,8 | **1,0** | 1,2 |
| $C_t$ : hőmérsékleti tényező | | $\leq$ 1,0 | |
| $\mu_i$ : alaki tényező | | | |

5

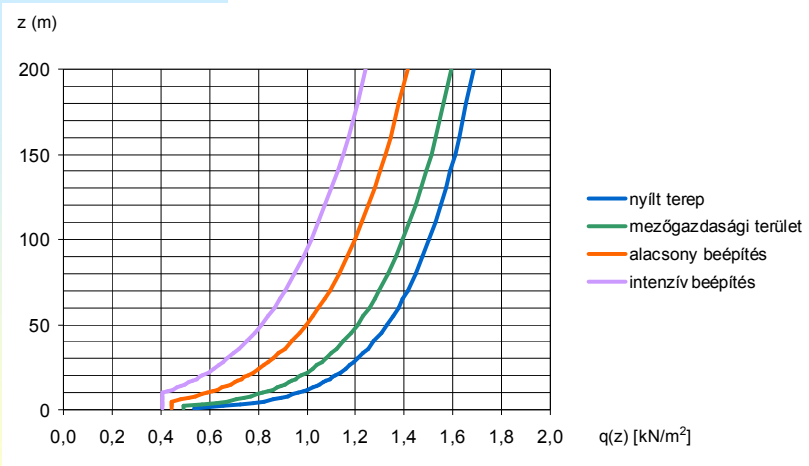
## A hóteher alaki tényezői

| Alaki tényező | A tető hajlásszöge (α) | | |
|---|---|---|---|
| | 0° ≤ α ≤ 30° | 30° < α < 60° | α ≥ 60° |
| $\mu_1$ | 0,8 | 0,8·(2 – α/30°) | 0 |
| | 0,8 (akadályozott hólecsúszás) | | 0 |
| $\mu_2$ | 0,8·(1 + α/30°) | 1,6 | - |




6

## A szél torlónyomása




7

## számértékek

| Terepszint feletti magasság | Beépítési kategória | | | |
|---|---|---|---|---|
| | I. | II. | III. | IV. |
| z[m] | $q_p(z)$ [kN/m$^2$] | | | |
| 1 | 0,54 | 0,50 | 0,44 | 0,41 |
| 2 | 0,66 | 0,50 | 0,44 | 0,41 |
| 3 | 0,73 | 0,57 | 0,44 | 0,41 |
| 4 | 0,78 | 0,63 | 0,44 | 0,41 |
| 5 | 0,83 | 0,67 | 0,44 | 0,41 |
| 6 | 0,86 | 0,71 | 0,48 | 0,41 |
| 7 | 0,89 | 0,74 | 0,51 | 0,41 |
| 8 | 0,92 | 0,77 | 0,54 | 0,41 |
| 9 | 0,94 | 0,80 | 0,57 | 0,41 |
| 10 | 0,97 | 0,82 | 0,59 | 0,41 |
| 11 | 0,99 | 0,84 | 0,61 | 0,43 |
| 12 | 1,01 | 0,86 | 0,63 | 0,45 |
| 13 | 1,02 | 0,88 | 0,65 | 0,47 |
| 14 | 1,04 | 0,89 | 0,67 | 0,48 |
| 15 | 1,05 | 0,91 | 0,69 | 0,50 |
| 16 | 1,07 | 0,93 | 0,70 | 0,52 |
| 17 | 1,08 | 0,94 | 0,72 | 0,53 |
| 18 | 1,09 | 0,95 | 0,73 | 0,54 |
| 19 | 1,11 | 0,97 | 0,74 | 0,56 |
| 20 | 1,12 | 0,98 | 0,76 | 0,57 |

8

## A felületi szélnyomás és a szélsúrlódás meghatározása

- A szélhatás fajtái

Ezekből most csak a külső- és a belső felületi szélnyomást kell figyelembe venni.

- külső felületi szélnyomás $w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$
- belső felületi szélnyomás $w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$
- összesített felületi szélnyomás $w_{net} = q_p(z_e) \cdot c_{net}$
- szélsúrlódás $w_{fr} = q_p(z_e) \cdot c_{fr}$

- Az alaki tényező és a felület nagysága közötti kapcsolat:

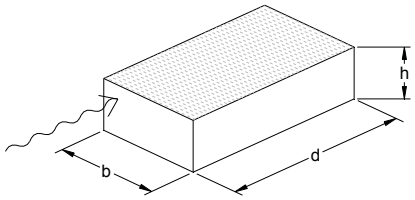
$$c_{pe}(A) = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \cdot log_{10}(A)$$

Esetünkben minden felület 10m$^2$-nél nagyobb→ $c_{pe,10}$ alkalmazandó.

9

## Külső nyomási tényezők egyszerűsített meghatározása

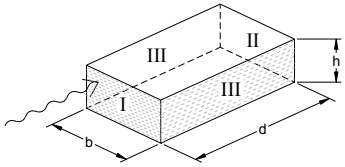
- Alkalmazási feltétel:
  - Kizárólag hasábszerű, síklapokkal határolt lapos vagy magastetős épületek;
  - ha *d>h* vagy *d>b/2* feltételek legalább egyike teljesül, akkor az **[1]** jelű táblázati oszlopok használhatók;
  - ha előbbiek nem teljesülnek, de a *d>h/2,5* vagy *d>b/5* feltételek legalább egyike teljesül, akkor a **[2]** jelű táblázati oszlopok használhatók.
- A táblázatokban a pozitív értékek szélnyomást, a negatívak pedig szélszívást jelentenek.




10

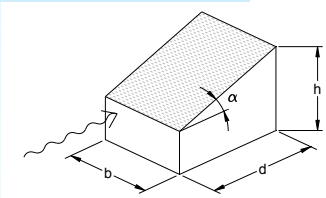
## Függőleges falak alaki tényezői $c_{pe,10}$

| *h/d* | Széltámadta oldalon (I) | Szélárnyékos oldalon (II) | Szélirányra merőlegesen (III) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | [1] | [2] |
| ≥5 | +0,80 | -0,70 | -0,96 | -1,20 |
| 1 | +0,80 | -0,50 | | |
| ≤0,25 | +0,70 | -0,30 | | |



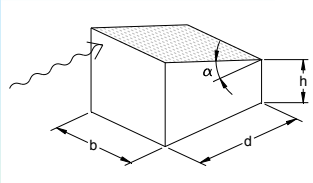



## Ferde tetőfelületek alaki tényezői ( $c_{pe,10}$) 1.




| Tetősík hajlásszöge (α) | Tetősík a széltámadta oldalon | |
|---|---|---|
| | [1] | [2] |
| 5° | 0 | 0 |
| | -0,72 | -0,90 |
| 15° | +0,20 | +0,20 |
| | -0,40 | -0,55 |
| 30° | +0,46 | +0,55 |
| | -0,26 | -0,35 |
| 45° | +0,62 | +0,65 |
| 60° | +0,70 | +0,70 |
| 75° | +0,80 | +0,80 |

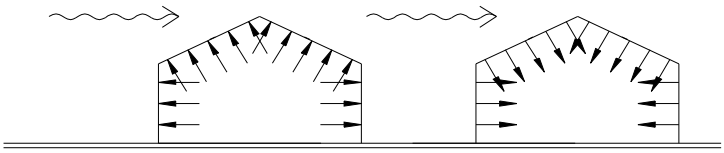
## Ferde tetőfelületek alaki tényezői ( $c_{pe,10}$) 2.




| Tetősík hajlásszöge (α) | Tetősík a szélárnyékos oldalon | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Félnyereg-tetők | | Nyeregtetők | |
| | [1] | [2] | [1] | [2] |
| 5° | -0,9 | -1,05 | +0,04 | +0,10 |
| | | | -0,60 | -0,60 |
| 15° | -0,98 | -1,10 | -0,52 | -0,70 |
| 30° | -0,80 | -0,80 | -0,42 | -0,45 |
| 45° | -0,66 | -0,60 | -0,22 | -0,25 |
| 60° | -0,50 | -0,50 | -0,22 | -0,25 |
| 75° | -0,50 | -0,50 | -0,22 | -0,25 |

13

## Belső felületek nyomási tényezői



$c_{pi} = +0,2$ $c_{pi} = -0,3$

- Érvényes, ha az épületnek nincs domináns áttört oldala.
- A nyomás és a szívás közül a kedvezőtlenebbet kell figyelembe venni. Ha nem lehet egyértelműen eldönteni,hogy melyik a kedvezőtlenebb, akkor mindkét esetet meg kell vizsgálni. ☹

14

## Az EC 3 keretekre vonatkozó előírásai

- Minden olyan hatást figyelembe kell venni, amely befolyásolja az igénybevételeket.
- Szokásos keresztmetszetek (melegen hengerelt vagy hasonló) esetén a „shear lag" hatás elhanyagolható.
- Szokásos keresztmetszetek esetén a lemezhorpadásnak a szerkezet analízisére gyakorolt hatása elhanyagolható. A 4. osztályú keresztmetszetek esetén sem kell a lemezhorpadás miatti merevségcsökkenést figyelembe venni.
- Másodrendű számítás mindig alkalmazható. Másodrendű minden olyan számítás, amely figyelembe veszi a szerkezet deformációinak az igénybevételekre gyakorolt hatását.

15

## Elsőrendű számítás csak akkor alkalmazható, ha:

- rugalmas számítás esetén $\alpha_{cr} \geq 10$
- képlékeny számítás esetén $\alpha_{cr} \geq 15$

$\alpha_{cr}$ : kritikus teherparaméter: $\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}}$

$F_{cr}$ az adott teherelrendezéshez tartozó kritikus teherérték;

$F_{Ed}$ az adott teherelrendezéshez tartozó tervezési teherérték.

- $F_{cr}$ számításánál az egész szerkezetre kiterjedő stabilitásvesztési módokat (kereteknél általában kilengő) kell figyelembe venni.

16

## $\alpha_{cr}$ közelítő meghatározása

- Alkalmazható reguláris kereteknél (függőleges oszlopok és vízszintes gerendák szabályos elrendezésben) és lapos (max. 1:2 ~26°) tetőhajlású portálkereteknél, ha a gerendákban fellépő nyomóerő nem túl nagy.
- A gerendákban a nyomóerő nem túl nagy, ha a keret síkjában számított relatív karcsúságra teljesül, hogy:

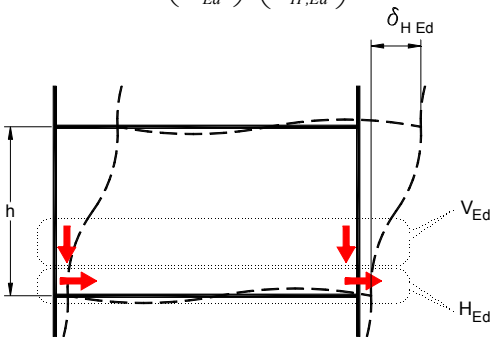
$$\bar{\lambda} \leq 0{,}3 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$$

(A karcsúságot a szerkezeti hossz alapján kell számítani úgy, mintha a gerenda mindkét vége csuklós megtámasztású lenne.)

17

## $\alpha_{cr}$ közelítőleg:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}}\right) \cdot \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}}\right)$$




18

## Másodrendű igénybevételek közelítése

- A másodrendű hatások közelítőleg figyelembe vehetők úgy, hogy az elsőrendű elmélettel meghatározott igénybevételeket az alábbi tényezővel szorozzuk:

$$\frac{1}{1-\frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

- A közelítés alkalmazható lapos tetőhajlású portálkeretek és többszintes reguláris keretek esetén, ha:
  - $$\alpha_{cr} \geq 3{,}0$$
  - minden szinten hasonló a függőleges és vízszintes erők, valamint a vízszintes (nyírási) merevségek eloszlása.

19

## Az imperfekciók

- A valóságos szerkezetek és az idealizált modell eltérései:
  - a geometriai alakhibák;
  - a gyártási maradó feszültségek;
  - az anyagi nemlinearitás;
  - az anyagi inhomogenitás;
  - a teherelhelyezés bizonytalansága.
- Az imperfekciók figyelembevétele a méretezésben:
  - csökkentő tényezős méretezési eljárás:
    - kísérleteken alapuló méretezési görbékkel;
  - helyettesítő imperfekciós méretezési eljárás:
    - geometriai jellegű imperfekciókkal,
    - teher jellegű imperfekciókkal.

A helyettesítő imperfekciók az összes eltérést helyettesítik.

A másodrendű elmélettel számított igénybevételekre történő szilárdsági méretezés egyben a szerkezeti stabilitás vizsgálata is.

20

## A csökkentő tényezős és a helyettesítő imperfekciós eljárás alkalmazási lehetőségei

- Csökkentő tényezős eljárás:
  - igénybevételek számítása elsőrendű elmélettel tökéletes geometriájú szerkezeten;
  - a szerkezeti elemek egyenkénti vizsgálata a stabilitásvesztési módnak megfelelő csökkentő tényezők alkalmazásával (kihajlási hossz ⇒ karcsúság ⇒ csökkentő tényező)
- Helyettesítő imperfekciós eljárás:
  - Az imperfekciókat úgy kell felvenni, hogy azok minden lehetséges stabilitásvesztési módot magukba foglaljanak.
  - A keresztmetszetek ellenőrzése a másodrendű elmélettel számított igénybevételekre történik.
- Vegyes eljárás:
  - Igénybevételek számítása másodrendű elmélettel globális imperfekciókkal terhelt szerkezeten;
  - Egyes szerkezeti elemek - melyek lokális stabilitásveszését a globális imperfekciók nem reprezentálják- egyenkénti vizsgálata a megfelelő csökkentő tényezők alkalmazásával.

21

## Globális helyettesítő imperfekciók

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

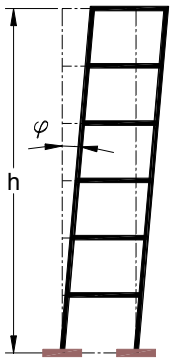
$$\varphi_0 = 1/200$$

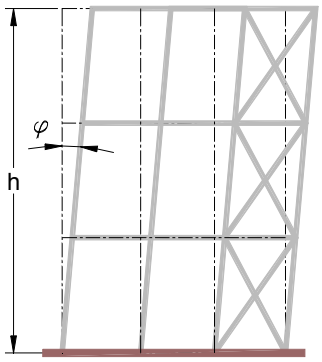
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}$$

$$h[m]$$

$$2/3 \le \alpha_h \le 1{,}0$$

$$\alpha_m = \sqrt{0{,}5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$




Nem kell figyelembe venni globális imperfekciót, ha a szerkezetre ható vízszintes terhek nagyok, azaz ha: $H_{Ed} \ge 0{,}15 V_{Ed}$

Egy teherkombinációhoz csak egy irányban kell felvenni imperfekciót.

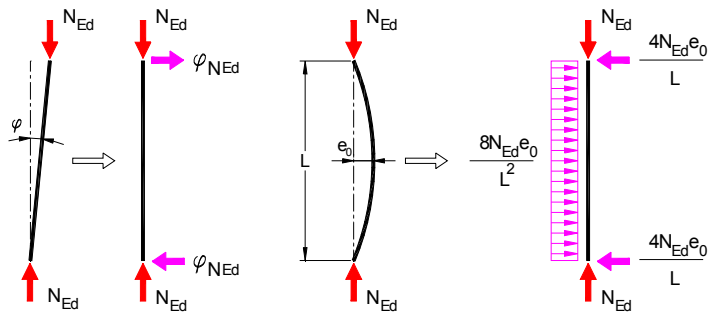
22

## Lokális helyettesítő imperfekciók

- Lokális imperfekcióként kezdeti görbeséget kell felvenni.
- Nem kell alkalmazni, ha a rudak ellenőrzése csökkentő tényezős eljárással történik.
- A globális imperfekciókkal együtt kell alkalmazni ha:
  - az elemeknek legalább az egyik vége nyomatékbíró módon kapcsolódik a kerethez, és
  - $\bar{\lambda} \geq 0{,}5 \cdot \sqrt{\dfrac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$
- A kezdeti görbeség értéke a szerkezeti analízis típusától (rugalmas vagy képlékeny) is függ.

23

## Globális és lokális helyettesítő imperfekciós terhek




24

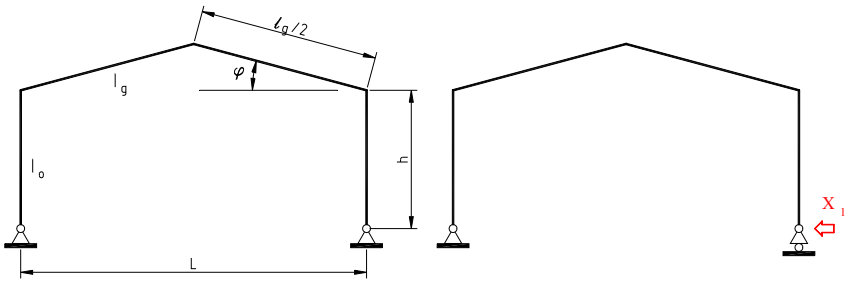
## A lokális imperfekciók tervezési értéke

| Kihajlási görbe | rugalmas számítás | képlékeny számítás |
|---|---|---|
| | $e_0$ / L | $e_0$ / L |
| $a_0$ | 1 / 350 | 1 / 300 |
| a | 1 / 300 | 1 / 250 |
| b | 1 / 250 | 1 / 200 |
| c | 1 / 200 | 1 / 150 |
| d | 1 / 150 | 1 / 100 |

A mi esetünk rugalmas számítás.
- hengerelt I szelvény „a” görbe
- hegesztett I szelvény „b” görbe

25

## A statikai váz és a törzstartó




26

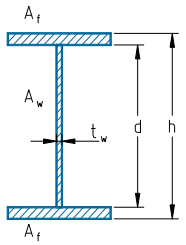
## Közelítő szelvényfelvétel becsléssel

- A kétcsuklós kereten számítható maximális nyomatékot az ugyanolyan támaszközű kéttámaszú tartó maximális nyomatékának 2/3-ára becsüljük.

$$M \approx \frac{2}{3} \cdot \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8}$$

- $q_{Ed}$ értékét a teherbírási határállapothoz előírt teherkombinációból határozzuk meg.
- Az állandó terhet a vázlattervi adatokból számíthatjuk, a gerenda saját súlyát 0,8 - 1,2 kN/m-re becsüljük.
- Válasszunk a becsült nyomatékra rugalmas állapotban megfelelő I. vagy II. keresztmetszeti osztályú szelvényt az optimálisat közelítő geometriával.

27




$$A_w = d \cdot t_w$$

$$\frac{d}{t_w} = r$$

$$h \approx d$$

## Szimmetrikus I-szelvény optimális keresztmetszete

A gerinclemez horpadásvizsgálat mellőzésének feltétele:

$$d / t_w \le 72\varepsilon / \eta$$

$$\eta = 1{,}2$$

$$f_y = 235 N / mm^2 \Rightarrow \varepsilon = 1$$

$$r = d / t_w = 60$$

Méretezés rugalmassági alapon: $\sigma = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \rightarrow W_{el} \ge \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}}$

$$W_{el} \approx A_f \cdot d + \frac{d^3}{6 \cdot r} \rightarrow A_f = \frac{W_{el}}{d} - \frac{d^2}{6 \cdot r} \qquad A_w = \frac{d^2}{r}$$

$$A = 2 \cdot A_f + A_w = \frac{2 \cdot W_{el}}{d} + \frac{2}{3} \cdot \frac{d^2}{r}$$

28

A legkisebb keresztmetszeti terület feltétele:

$$\frac{dA}{dt_w} = 0 = -\frac{2 \cdot W_{el}}{d^2} + \frac{4}{3} \cdot \frac{d}{r} \rightarrow d^3 = \frac{3}{2} \cdot W_{el} \cdot r$$

$$\boxed{d = (1{,}5 \cdot W_{el} \cdot r)^{1/3} = \left(1{,}5 \cdot \frac{M_{Ed} \cdot r}{f_y / \gamma_{M0}}\right)^{1/3}}$$

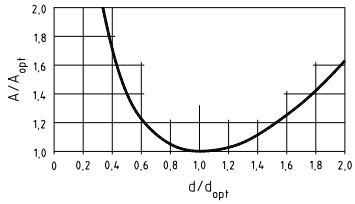
$$W_w = \frac{t \cdot d^2}{6} = \frac{d^3}{6 \cdot r} = \frac{\frac{3}{2} \cdot W_{el} \cdot r}{6 \cdot r} = \frac{W_{el}}{4} \rightarrow W_f = \frac{3}{4} W_{el}$$

$$W_f \approx \frac{I_f}{d} \approx 2 \cdot \frac{A_f \cdot (d/2)^2}{d/2}$$

$$A_f = \frac{3}{4} \cdot \frac{W_{el}}{d} = 0{,}75 \cdot \frac{M_{Ed}}{d \cdot f_y / \gamma_{M0}}$$

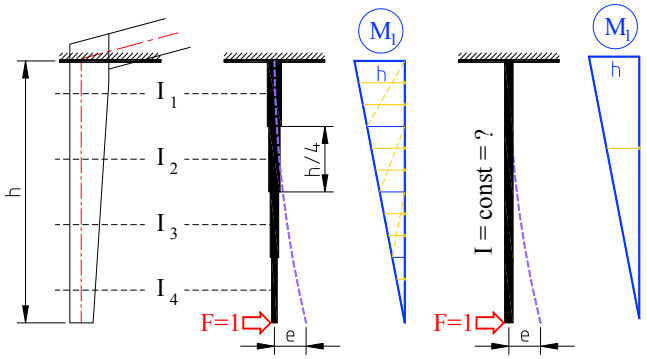
$$A_w = d \cdot t = \frac{6 \cdot W_w}{d} = \frac{6 \cdot W_{el}}{4 \cdot d} = 1{,}5 \cdot \frac{M_{Ed}}{d \cdot f_y / \gamma_{M0}}$$

$$A_{opt} = 3{,}0 \cdot \frac{M_{Ed}}{d \cdot f_y / \gamma_{M0}}$$




29

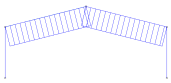
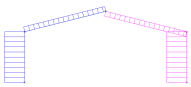
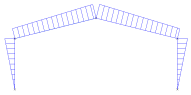
## A keretláb helyettesítő tehetetlenségi nyomatéka




$$e = \int \frac{M_l^2}{EI_i} ds = \ldots \qquad e = \int \frac{M_l^2}{EI} ds = \frac{h^3}{3 \cdot EI_o} \qquad I_o = \frac{h^3}{3 \cdot E \cdot e}$$

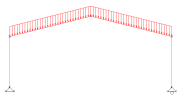
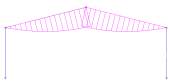
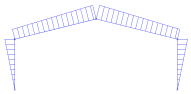
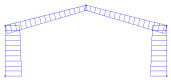
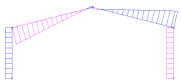
30

## Igénybevételek az $X_1$ egységerőből

| $X_1$ = 1kN | | |
|---|---|---|
| | | |
| $N_1$ | $T_1$ | $M_1$ |
|  |  |  |

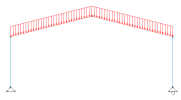
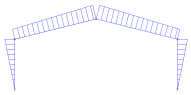
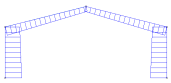
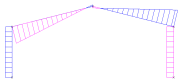
31

## Igénybevételek az állandó teherből

| $q_g$ = | $M_0$ | $M_1$ |
|---|---|---|
|  |  |  |
| $N_g$ | $T_g$ | $M_g$ |
|  |  | |

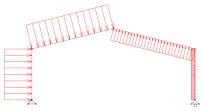
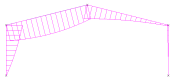
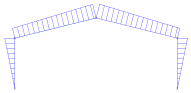
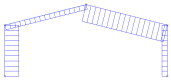
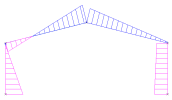
32

## Igénybevételek a hóteherből

| $q_s$ = | $M_0$ | $M_1$ |
|---|---|---|
|  | |  |
| $N_s$ | $T_s$ | $M_s$ |
|  |  | |

33

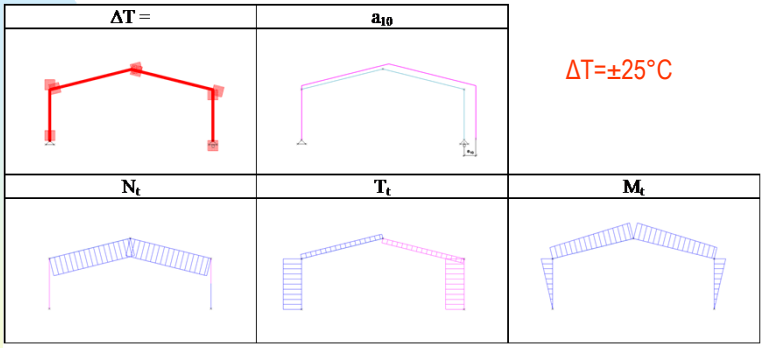
## Igénybevételek a szélteherből

| $q_{w1}$ ; $q_{w2}$ ; $q_{w3}$ ; $q_{w4}$ | $M_0$ | $M_1$ |
|---|---|---|
|  |  |  |
| $N_w$ | $T_w$ | $M_w$ |
|  |  | |

A ferde felületeken a szélteher előjele a tetősíkok hajlásától függ.
A külső és belső szélnyomást célszerű együtt számítani.

34

## Igénybevételek a hőmérsékletváltozásból




ΔT=±25°C

35

## Igénybevételek összegzése a globális imperfekciós teher számításához

- A globális imperfekciók számításához a keretlábakban ébredő normálerő ismerete szükséges. Az igénybevételeket teherbírási határállapotban a tartós tervezési állapothoz tartozó teherkombinációból számítjuk. (Kiemelt teher a hóteher.)

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\varphi_0 = 1/200$$

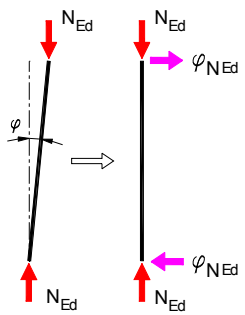
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}$$

$$h[m]$$

$$2/3 \le \alpha_h \le 1{,}0$$

$$\alpha_m = \sqrt{0{,}5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

$$m = 2\,(oszlopok\ száma)$$




36

## A hatások tervezési értékei teherbírási határállapotban

| Tervezési állapot | Állandó hatások ($G$, $P$) | | Esetleges hatások ($Q$) | | Rendkívüli ($A$) vagy szeizmikus ($A_E$) hatások |
|---|---|---|---|---|---|
| | kedvezőtlen | kedvező | kiemelt (domináns) | az összes többi | |
| Tartós és ideiglenes | $\gamma_{G,sup} \cdot G_k$ ($\gamma_{P,unfav} \cdot P$) | $\gamma_{G,inf} \cdot G_k$ ($\gamma_{P,fav} \cdot P$) | $\gamma_{Q,1} \cdot Q_{k1}$ | $\psi_{0i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{ki}$ | - |
| Rendkívüli | $G_k$ | | $\psi_{11} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k1}$ | $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ | $A_d$ |
| Szeizmikus | $G_k$ | | - | $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ | $A_{Ed}$ |

EC0

37

## Hatások parciális tényezői

| A hatás | Jelölés | Számérték |
|---|---|---|
| Állandó hatás, ha kedvezőtlen | $\gamma_{G,sup}$ | 1,35 (1,10) |
| Állandó hatás, ha kedvező | $\gamma_{G,inf}$ | 1,00 (0,90) |
| Esetleges hatás, ha kedvezőtlen | $\gamma_Q$ | 1,50 |
| Esetleges hatás, ha kedvező | $\gamma_Q$ | 0 |

A zárójeles értékek csak az állékonysági határállapot vizsgálatakor alkalmazhatók.

EC0

38

## Hatáskombinációk

- Teherbírási határállapotok vizsgálatánál:
  - Tartós vagy ideiglenes tervezési állapot
  - Rendkívüli tervezési állapot
  - Szeizmikus tervezési állapot
- Használhatósági határállapotok vizsgálatánál:
  - Karakterisztikus (ritka) kombináció → $\psi_0$
    az irreverzibilis határállapotokhoz
    (pl. repedésmentesség)
  - Gyakori kombináció → $\psi_1$
    a reverzibilis határállapotokhoz
    (pl. eltolódások, lengések)
  - Kvázi-állandó kombináció → $\psi_2$
    a hosszantartó hatásokhoz
    (pl. alakváltozások, repedéstágasság)

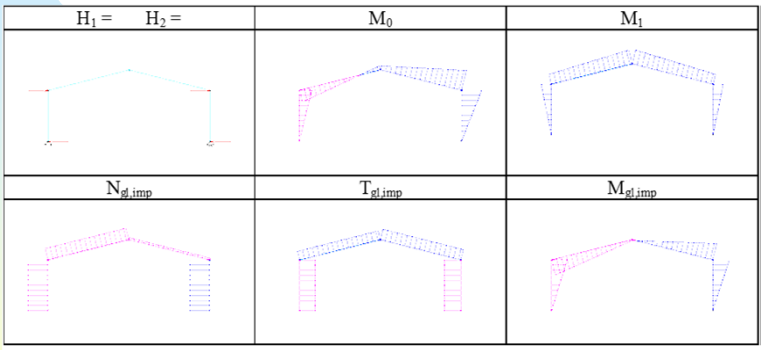
39

## Hatások kombinációs tényezői

| Hatás | Tényező számértéke | | |
|---|---|---|---|
| | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
| Födém- és tetőteher | | | |
| A kategória (lakás) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| B kategória (iroda) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| C kategória (egyéb középület) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| D kategória (áruház) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| E kategória (raktár) | 1,0 | 0,9 | 0,8 |
| F kategória (könnyű járművel járt födém) | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| G kategória (közepesen nehéz járművel járt födém) | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| H kategória (közönsége tető) | 0 | 0 | 0 |
| Hóteher (általános eset) | 0,5 | 0,2 | 0 |
| Szélteher | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Hőmérsékleti hatások (de nem tűzteher) | 0,6 | 0,5 | 0 |

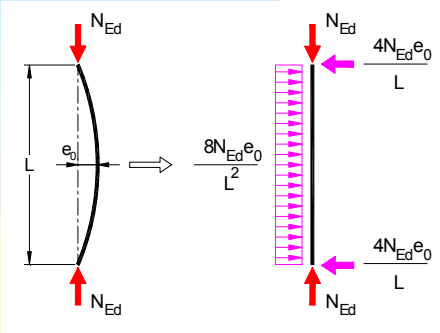
40

## Igénybevételek a globális imperfekcióból




41

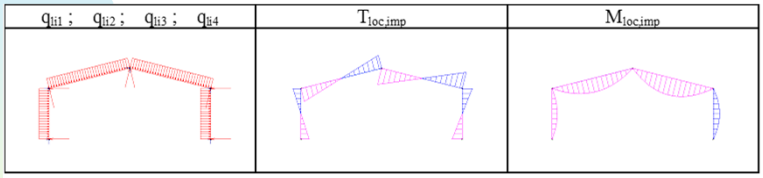
## Igénybevételek összegzése a lokális imperfekciós teher számításához




- A lokális imperfekciók számításáhozhoz a két keretlábban és a gerendában ébredő normálerő ($N_{Ed}$) ismerete szükséges. Az igénybevételeket teherbírási határállapotban a tartós tervezési állapothoz tartozó teherkombinációkból számítjuk.
- $e_0 = L/250$ (lásd: 25. dia)

42

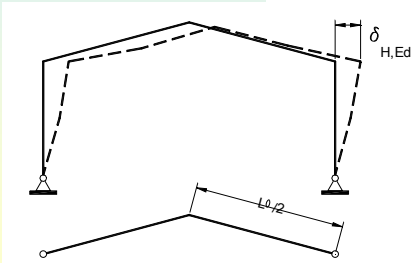
## Igénybevételek a lokális imperfekciókból




43

## $\delta_{H,Ed}$ meghatározása az $\alpha_{cr}$ számításához

- A keretsarkok vízszintes eltolódását <u>használhatósági határállapotban</u> a karakterisztikus kombinációból számítjuk. Kiemelt teher a szélteher, a globális és lokális imperfekciós terheket állandó teherként vesszük figyelembe.
- Ellenőrizendő feltétel, hogy a gerendában a nyomóerő nem túl nagy-e. A keret síkjában számított relatív karcsúságra teljesülni kell, hogy:




$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{L_0 / i_y}{\lambda_1} \leq 0{,}3 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$$

– (A karcsúságot a szerkezeti hossz alapján kell számítani úgy, mintha a gerenda mindkét vége csuklós megtámasztású lenne.)

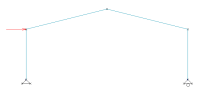
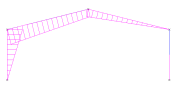
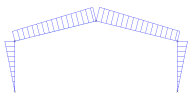
44

## A hatások tervezési értékei <u>használhatósági</u> határállapotban

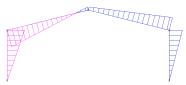
| Hatáskombináció | Állandó hatások | Esetleges hatások | |
|---|---|---|---|
| | | kiemelt (domináns) | az összes többi |
| Karakterisztikus | $G_k$ ($P_k$) | $Q_{k1}$ | $\psi_{0i} \cdot Q_{ki}$ |
| Gyakori | | $\psi_{11} \cdot Q_{k1}$ | $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ |
| Kvázi-állandó | | $\psi_{2i} \cdot Q_{ki}$ | |

45

## Igénybevételek a H egységerőből

| H = 1kN | $M_0$ | $M_1$ |
|---|---|---|
|  |  |  |

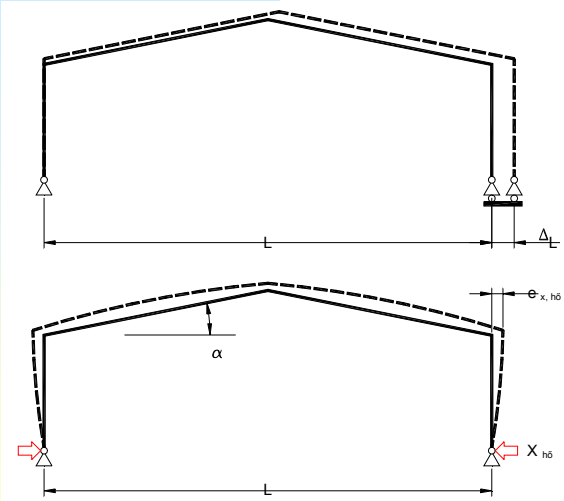
$M_H$



A keretsarok vízszintes elmozdulásának számításához szükséges.

46

## Keretsarok elmozdulása a hőmérsékletváltozásból

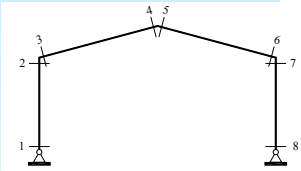



$$\Delta L = \alpha_{hő} \cdot L \cdot \Delta T$$

$$e_{x,hő} = \frac{\Delta L - \frac{X_{hő} \cdot \cos\alpha \cdot L}{E \cdot A_{ger}}}{2}$$

47

## Igénybevételek összegzése a szilárdsági- és stabilitás vizsgálatokhoz




- A terhelési esetekből az ábrán bejelölt keresztmetszetekben kiszámított N, T és M igénybevételeket a teherbírási határállapot kombinációi szerint a megfelelő parciális és kombinációs tényező figyelembevételével összegezzük.
- Az előbbiek szerint számított (elsőrendű) igénybevételekből a másodrendű igénybevételek <u>közelítőleg</u> az alábbi tényezővel történő szorzással kaphatók:

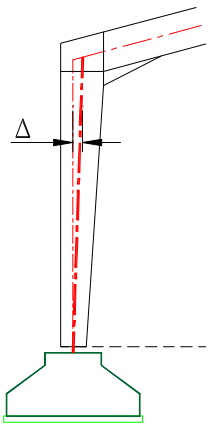
$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}}$$

48

| km. | | γ | állandó | γ | ψ | hó | γ | ψ | szél | γ | ψ | hő | TK | glob. imp. | lok. imp. | I. rendű | II. rendű | korrekció |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | ΔM |
| 3 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | ΔM |
| 8 | N | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | T | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | M | | | | | | | | | | | | | | | | | |



## korrekció...




$$N' \approx N$$

$$T' \approx T$$

$$M' \approx M + \Delta \cdot N$$

- A statikai váz és a szilárdsági tengely eltérése miatt a keretláb ellenőrzésekor a nyomatéki igénybevétel korrigálása szükséges.

## Keresztmetszetek ellenőrzése

- Szilárdsági vizsgálatok
  - Külpontosan nyomott elemek vizsgálata másodrendű elmélet szerinti igénybevételekből (ez egyben a stabilitásvizsgálat is a keret síkjában) a nyomatéki maximumok helyén.
  - Nyírásvizsgálat (elvégzendő a nyíróerő maximumok helyén).
  - Normálerő vizsgálata az oszlop alsó keresztmetszetében.
- Stabilitásvizsgálat
  - A nyomott öv vizsgálata az oszlopokon és a gerendán.
- Optimális kihasználtságra kell törekedni a keresztmetszetek értelemszerű módosításával.

51

## Keresztmetszetek ellenállásának ellenőrzése összetett igénybevételekre (1. ill. 2. osztályú keresztmetszetek)

- Hajlítás és normálerő:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

- Hajlítás és nyírás:

$$M_{V,Rd} = \left( W_{pl} - \rho \frac{A_V^{\,2}}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A_V = d \cdot t_w$$

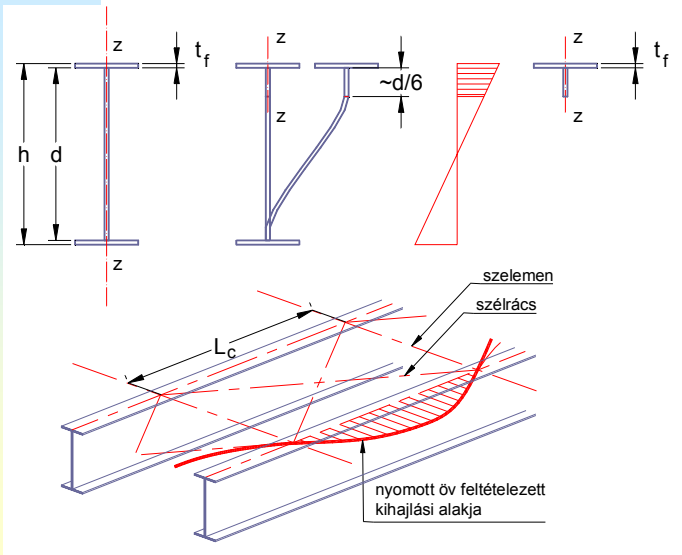
$$\rho = \left( \frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$V_{pl,Rd} = d \cdot t_w \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

- Nem kell a nyírás hatását figyelembe venni, ha: $V_{Ed} \leq 0{,}5 \cdot V_{pl,Rd}$

52

## Kiforduláswizsgálat (egyszerűsített módszerrel)




53

## A kifordulási ellenállás (övmerevség alapján)

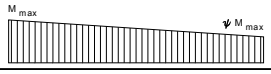
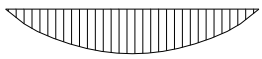
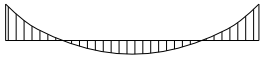
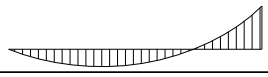
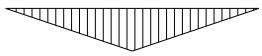
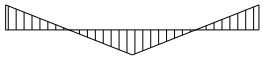
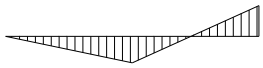
$$M_{Ed} \le M_{b,Rd} = k_{fl} \cdot \chi \cdot M_{c,Rd}$$

- $k_{fl} = 1{,}10$ korrekciós tényező,
- $M_{c,Rd}$ a keresztmetszet nyomatéki ellenállása, de $\gamma_{M0}$ helyett $\gamma_{M1}$ (most nem szilárdsági, hanem stabilitásvesztési határállapotot vizsgálunk);
- $\chi$ a **helyettesítő T-szelvény** $\bar{\lambda}_f$ redukált karcsúságától függő csökkentő tényező.

54

## A helyettesítő T-szelvény redukált karcsúsága

$$\overline{\lambda}_f = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{fz} \cdot \lambda_1}$$

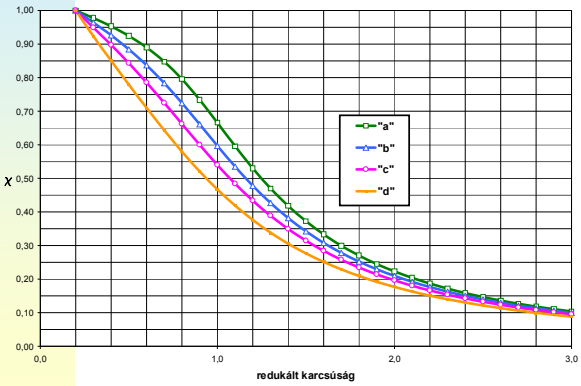
| A nyomatéki ábra alakja | $k_c$ tényező |
|---|---|
|   | $\frac{1}{1{,}33-0{,}33\cdot\psi}$ |
|  | 0,94 |
|  | 0,90 |
|  | 0,91 |
|  | 0,86 |
|  | 0,77 |
|  | 0,82 |

55

## A $\chi$ csökkentő tényező

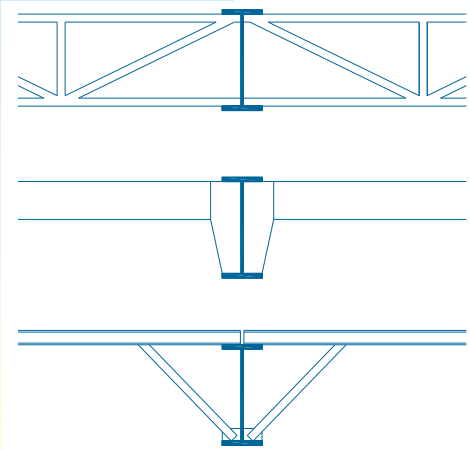
- a *„c”* görbe alapján általában;
- a *„d”* görbe alapján olyan hegesztett I szelvényeknél, melyeknél:

$$h \le 44 \cdot \varepsilon \cdot t_f$$




56

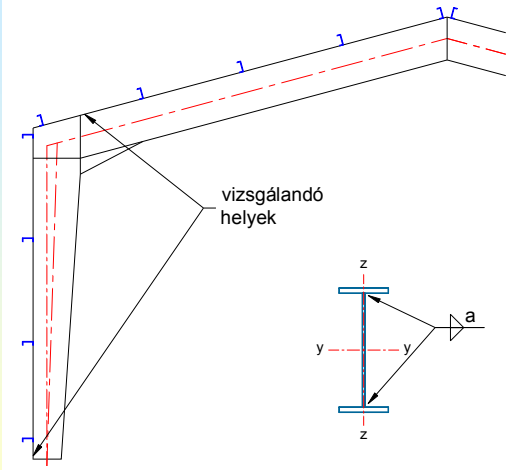
## A nyomot övek oldalirányú megtámasztásának lehetőségei



- rácsos hosszkötés
- sarokmereven bekötött, tömör szelvényű hosszkötés
- kitámasztott (könyökös) szelemen

57

## Varratok vizsgálata



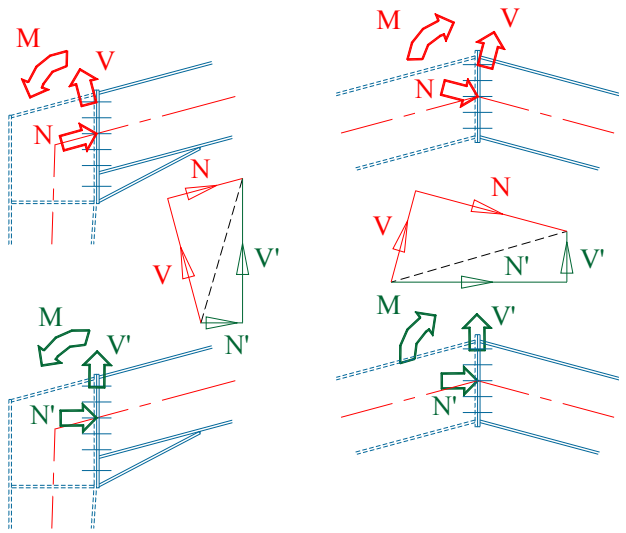

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot 2 \cdot a} \leq f_{w,Ed}$$

$$f_{w,Ed} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$S\,235 \rightarrow \beta_w = 0{,}8$$

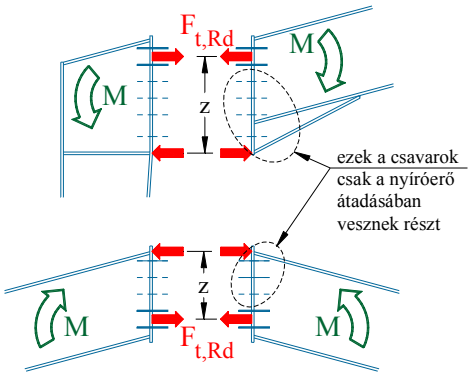
58

## A kapcsolatokra ható erők






## A homloklemezes kapcsolat (elképzelt) erőjátéka




- A kapcsolat megfelelőségének feltétele:

$$M_{j,Rd} = F_{t,Rd} \cdot z \geq M_{j,Ed}$$

$$V_{j,Rd} = \sum B_{V,Rd} \geq V_{j,Ed}$$

- Összetett igénybevételű csavarok ellenállása:

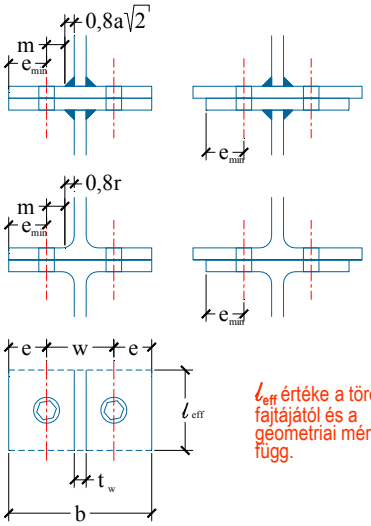
$$\frac{B_{V,Ed}}{B_{V,Rd}} + \frac{B_{t,Ed}}{1{,}4 \cdot B_{t,Rd}} \leq 1$$

## Az egyenértékű T-elem meghatározó méretei

A csavar elhelyezhetőségét is figyelembe kell venni.
Ajánlás: $m \approx 1{,}2d$

$$m = \frac{w - t_w - 1{,}6 \cdot r}{2}$$

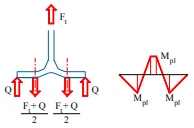
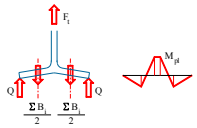
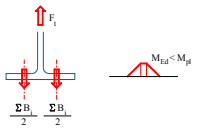
$$e = \frac{b - w}{2}$$




$l_{eff}$ értéke a töréskép fajtájától és a geometriai méretektől függ.

61

## A helyettesítő T-elem húzó ellenállása

| Tönkremenetel módja | Húzó ellenállás |
|---|---|
| 1. Az öv teljes folyása  | $F_{t,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,Rd}}{m}$ |
| 2. Az öv folyása és a csavarok törése  | $F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd} + n \cdot \sum B_{t,Rd}}{m+n}$ |
| 3. A csavarok törése  | $F_{t,3,Rd} = \sum B_{t,Rd}$ |

$$M_{pl,Rd} = \sum l_{eff} \cdot \frac{t_f^2}{4} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$n = e_{min}$, de
$n \le 1{,}25m$

$$A_s \approx 0{,}75 \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$d_m \approx 1{,}6 \cdot d$$

$$B_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0{,}9 \cdot A_s \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \\ = 0{,}53 \cdot d^2 \cdot \frac{f_{ub}}{\gamma_{M2}} \\ 0{,}6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_f \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \\ = 3{,}01 \cdot d \cdot t_f \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right\}$$

62

## A csavarátmérő és minőség kiválasztása

**A csavarátmérő és a lemezvastagság minimális hányadosa ( $\delta_t = d/t_{min}$ )**

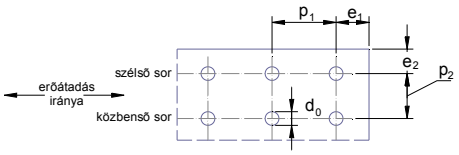
| $f_{ub}$ \ $f_u$ | 360 | 430 | 510 | 530 |
|---|---|---|---|---|
| **400** | 3,18 | - | - | - |
| **500** | 2,53 | 3,04 | - | - |
| **600** | 2,12 | 2,54 | 3,01 | 3,13 |
| **800** | 1,59 | 1,90 | 2,26 | 2,34 |
| **1000** | 1,27 | 1,52 | 1,80 | 1,82 |

A táblázat értékei abból a feltételből adódnak, hogy a palástnyomási ellenállás mindig legyen nagyobb, mint a nyírási ellenállás. A csavarkép elrendezésére vonatkozó feltétel:

$$e_1 \geq 2d_0\,;\; e_2 \geq 1{,}5d_0\;\;;\; p_1 \geq 3d_0;\; p_2 \geq 3d_0$$

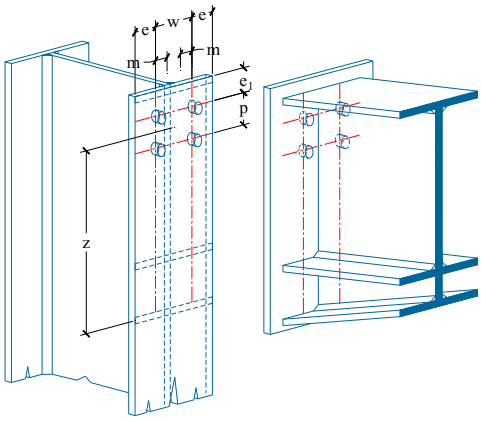
A javasolt csavarátmérő:

$$d \geq \delta_t \cdot t_{\min}$$




63

## Az oszlopöv vizsgálata

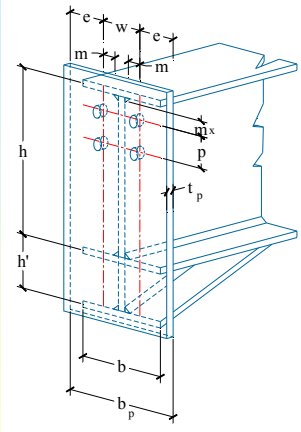



$$\ell_{eff} = \min\begin{Bmatrix} 4m + 1{,}25e \\ e_1 + 2m + 0{,}625e \\ p \\ 2m + 0{,}625e + 0{,}5p \\ e_1 + 0{,}5p \end{Bmatrix}$$

Az érték egy csavarsorra vonatkozik!

64

## A homloklemez vizsgálata




$$\ell_{eff,felső} = 0{,}5\,p + \alpha \cdot m - (2m + 0{,}625e)$$

$$\ell_{eff,alsó} = 0{,}5\,p + 2m + 0{,}625e$$

$$m_x \approx m$$

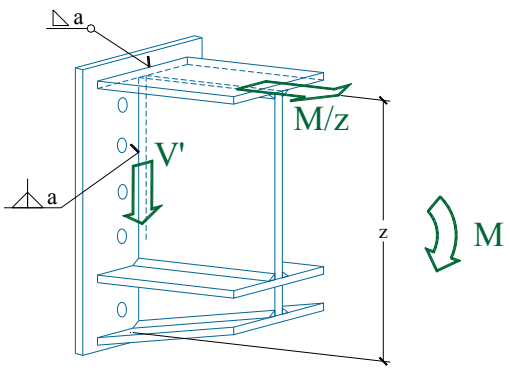
| e/m | 1,0 | 1,25 | 1,5 |
|---|---|---|---|
| λ | 0,50 | 0,44 | 0,40 |
| α | 5,75 | 6,14 | 6,52 |

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_x}{m+e}$$



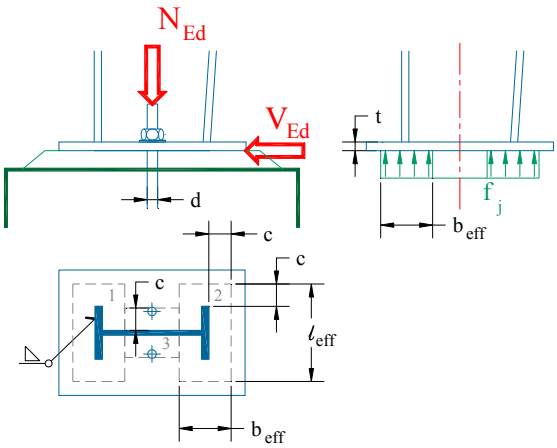
## A homloklemez varratainak méretezése



## Az oszloptalp méretezése

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_j \cdot \gamma_{M0}}}$$

$$f_j \le f_{cd}$$




67

## Talpfelület, lehorgonyzás, varratok

**Az oszloptalp effektív felülete:**

$$A_{eff} = \sum \ell_{eff} \cdot b_{eff}$$

$$N_{j,Rd} = A_{eff} \cdot f_{cd} \ge N_{Ed}$$

**A lehorgonyzó csavar** (minősége max. 8.8)
A talplemez és a cementhabarcs kiöntés közötti súrlódás 0,2-es súrlódási tényezővel figyelembe vehető.

$$F_{j,Rd} = 0{,}2 \cdot N_{c,Ed} + n \cdot B_{Rd} \ge V_{Ed}$$

$$B_{Rd} = \min \begin{pmatrix} B_{V,Rd} \\ B_{p,Rd} \end{pmatrix}$$

(A csavar menetes része a furatba kerül!)
**A varrat ellenőrzése:**

$$N_{Ed} \le N_{w,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \cdot \Sigma a \cdot \ell$$

68