



EURÓPAI UNIÓ
STRUKTURÁLIS ALAPOK



M
A
G
A
S
É
P
Í
T
É
S
I

A
C
É
L
S
Z
E
R
K
E
Z
E
T
E
K

PMSTNB 310 segédlet a PTE PMMK építőmérnök hallgatói részére

„Az építés- és az építőmérnök képzés szerkezeti és tartalmi fejlesztése”

HEFOP/2004/3.3.1/0001.01

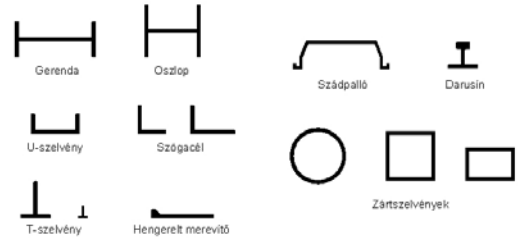
1. Előadás

Egyszerű csarnokok elsődleges teherviselő szerkezeteinek rendszerei

Szerkezeti acélok
Szerkezeti keresztmetszetek

- Acélvázcsarnokrendszerek
- Rugalmas és képlékeny méretezés
- Tervezés - Gyártás - Szerelés
- Keretfőtartós rendszer elsődleges teherviselő szerkezeti rendszerei

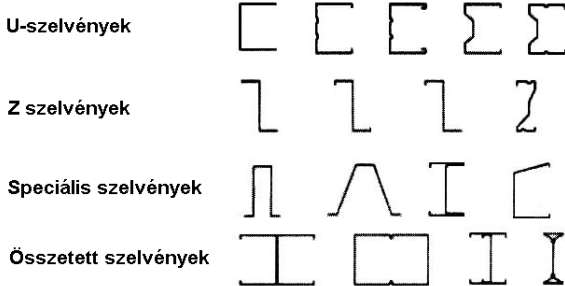
Tipikus melegen hengerelt szelvények



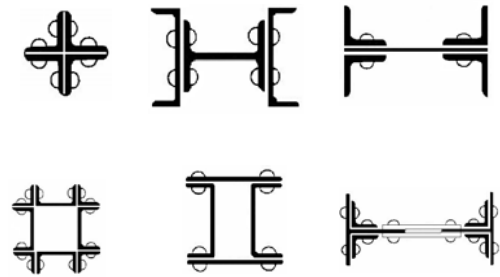
Készült az ERFP-002002-HJ-B-01 szerződéses számú projekt támogatásával

1/2

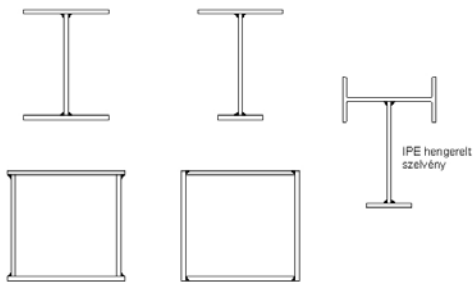
Tipikus hidegen alakított szelvények



Szegecselt keresztmetszetek

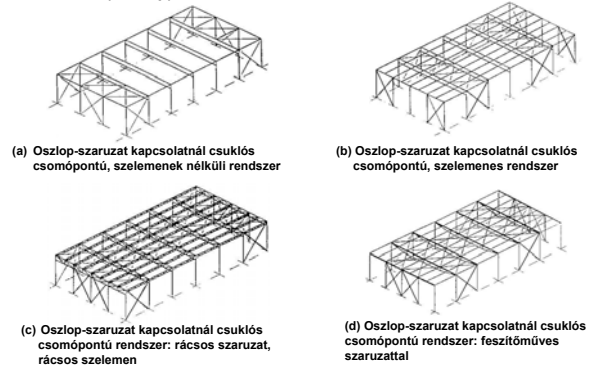


Hegesztett keresztmetszetek

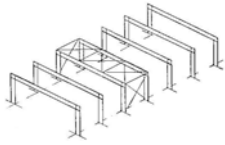


Acélvázcsarnokrendszerek

I. Szaruzat (-oszlop) főtartós rendszer



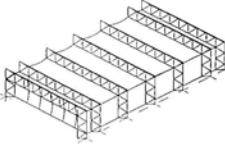
II. Keretfőtartós rendszer



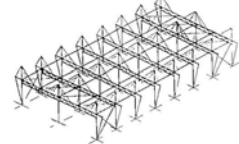
(a) Keretfőtartós, szelemenek nélküli rendszer



(b) Keretfőtartós, szelemenes rendszer



(c) Rácsos, keretfőtartós, szelemenek nélküli rendszer



(d) Függesztőműves, keretfőtartós rendszer

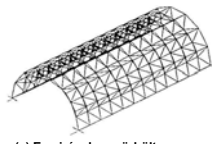
III. Ívfőtartós rendszer



(a) Padlósíntre támaszkodó, íves főtartó rendszer



(b) Oszlopokra támaszkodó, íves főtartó rendszer

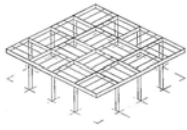


(c) Egy irányban görbült, rácsos ívrendszer

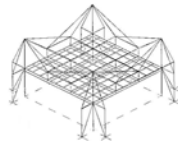


(d) Oszlopokra támaszkodó íkerívek rendszere

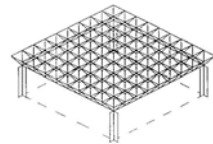
IV. Térbeli főtartós rendszer



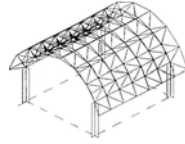
(a) Gerendarács rendszer



(b) Gerendarács rendszer függesztőművel



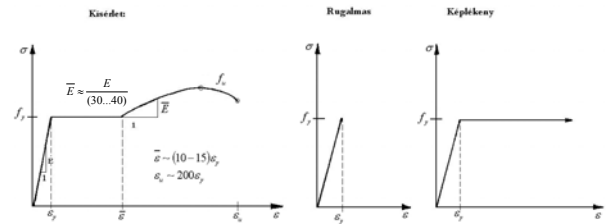
(c) Oszlopokra támaszkodó, síkban elhelyezett, térbeli rácsos tartó



(d) Oszlopokra támaszkodó, egy irányban görbült felületen levő térbeli rácsos tartó

Rugalmas és képlékeny méretezés

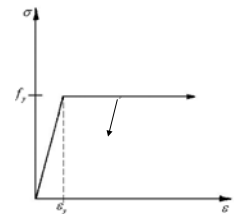
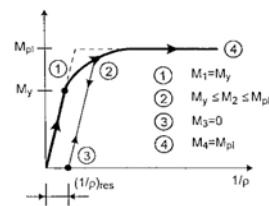
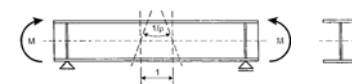
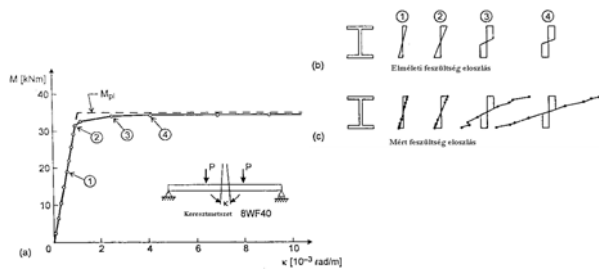
I. Szerkezeti acél

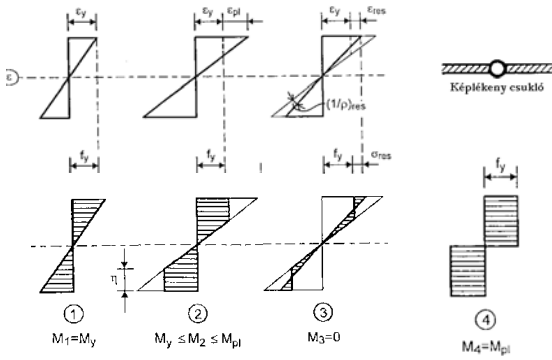


Rugalmas és képlékeny méretezés

II. Szerkezeti keresztmetszet

Kísérlés

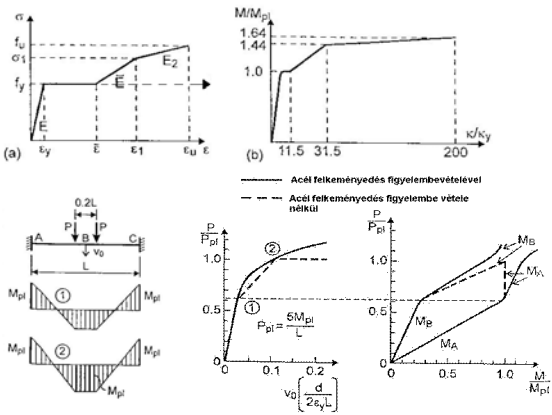
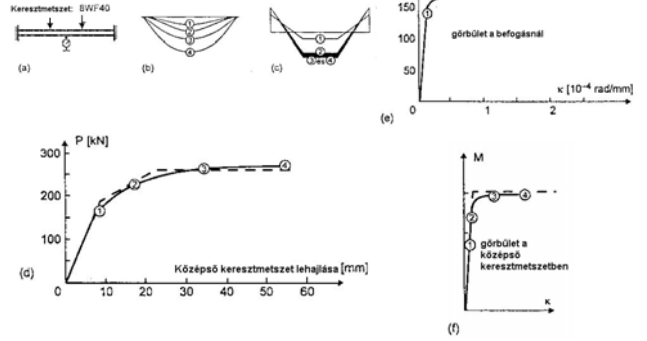




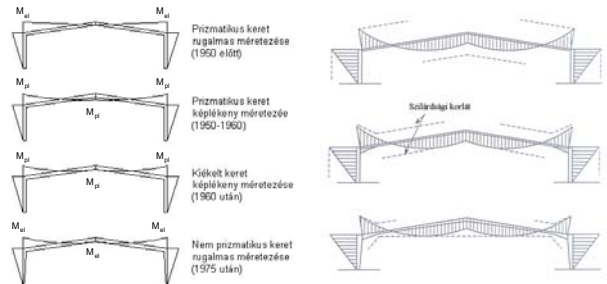
Rugalmas és képlékeny méretezés

III. Szerkezet

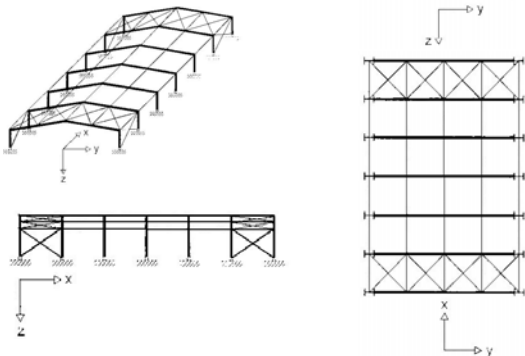
Kíséret



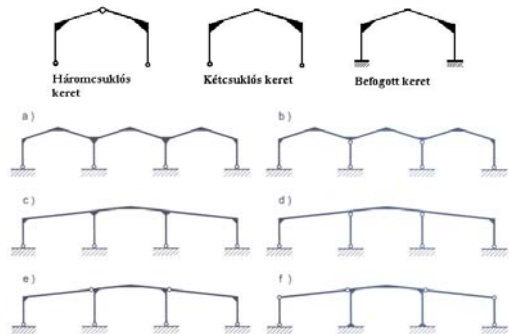
Tervezés – Gyártás - Szerelés



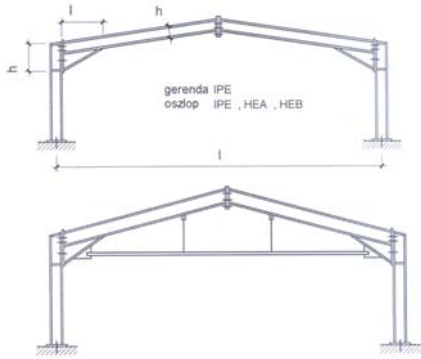
Keretfőtartós rendszer



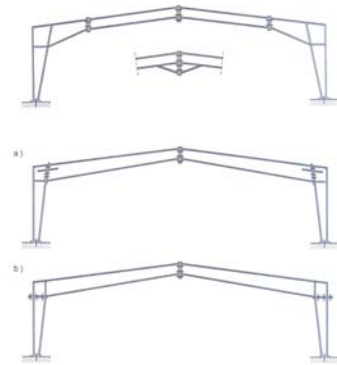
Keretfőtartók



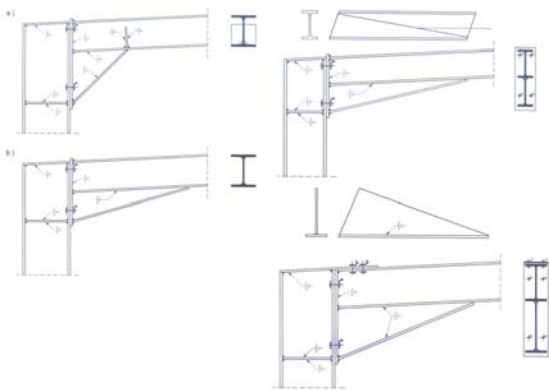
Keretfőtartók: hengerelt szelvények



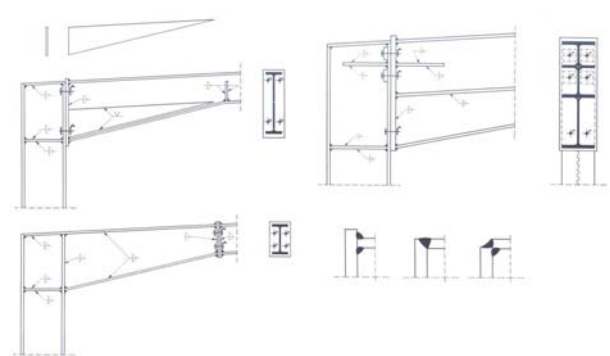
Keretfőtartók: hegesztett szelvények



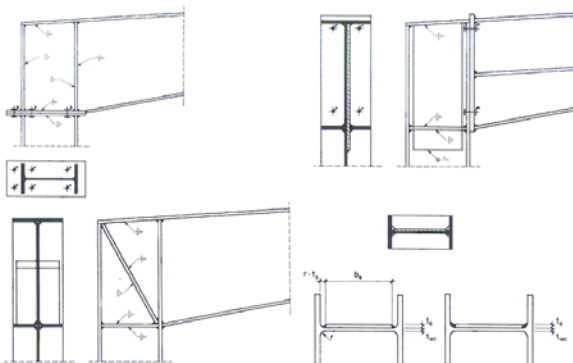
Keretsarkok I.



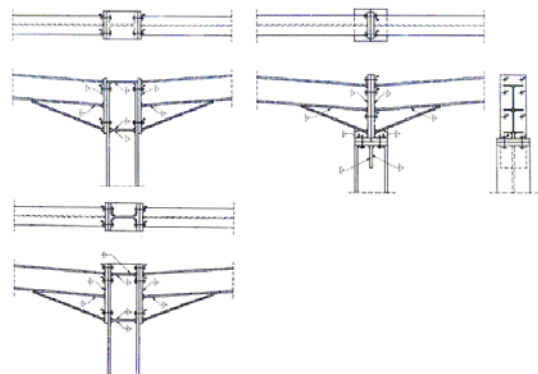
Keretsarkok II.

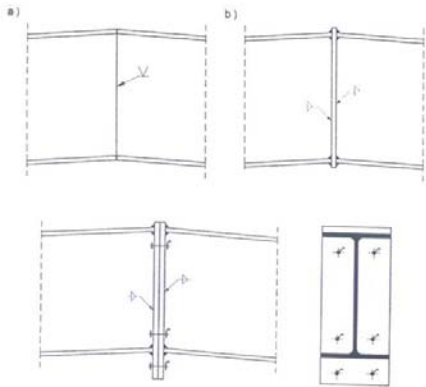


Keretsarkok III.

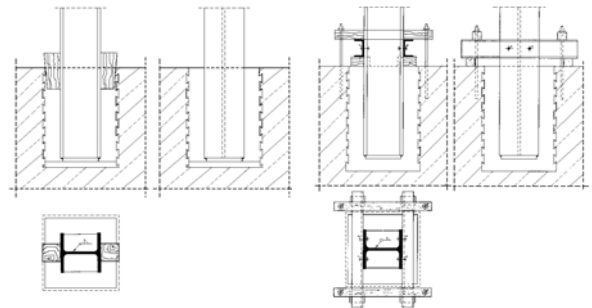


Keretsarkok IV.

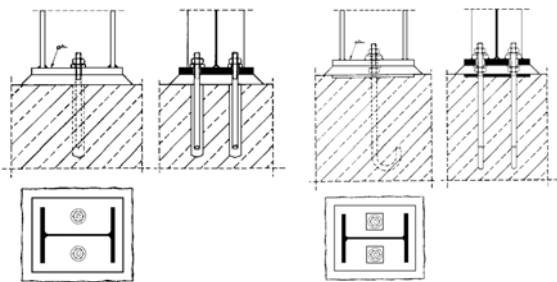




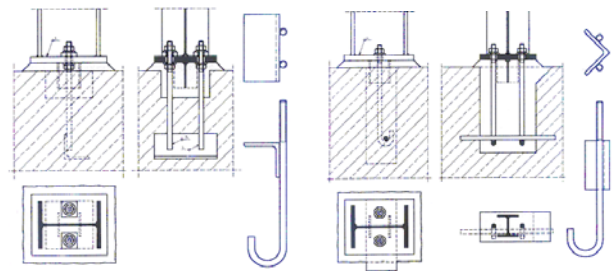
Kehyalapba befogott oszlop



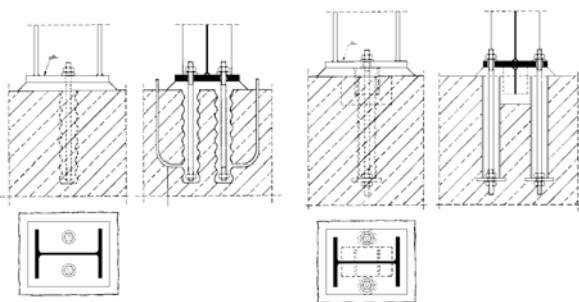
Oszlopok lehorgonyozása I.



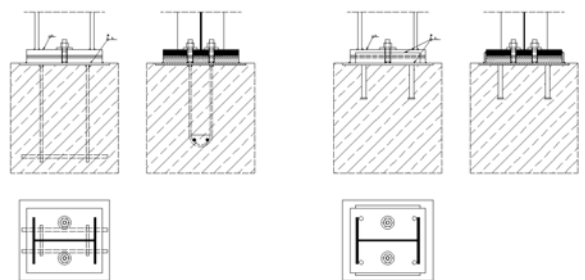
Oszlopok lehorgonyozása II.



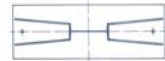
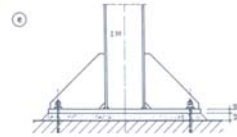
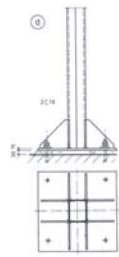
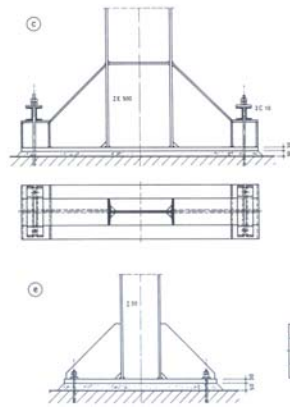
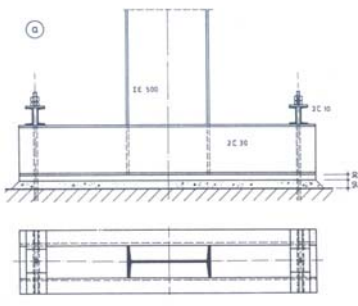
Oszlopok lehorgonyozása III.



Oszlopok lehorgonyozása IV.



Talpgerendás oszloptalp



2. Előadás

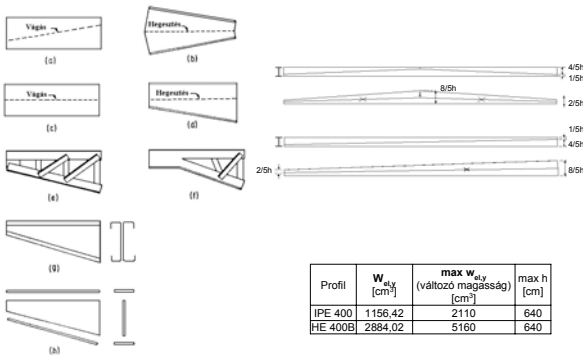
Csarnokszerkezetek teherbírásvizsgálatai, elméleti háttér

- globális analízis és követelményei:
- rugalmas és képlékeny vizsgálatok
- szerkezeti elemek, keresztmetszetek teherbírás-vizsgálata
- kísérleti vizsgálatok eredményei

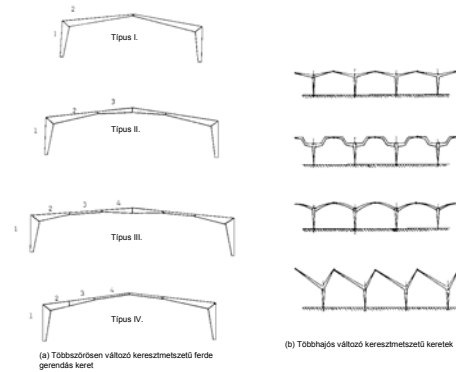
RUGALMAS ÉS KÉPLÉKENY ANALÍZIS

Képlékeny analízis		Rugalmas analízis	
	Mechanizmus	Folytonosság	
	Egységnyi		
			Kiseb mint M_p

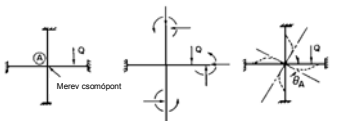
Rugalmas analízis ↔ Változó keresztmetszetű tartó
 Változó keresztmetszetű tartó kialakítási lehetőségei: Változó keresztmetszetű tartó geometriai méretei:



Rugalmas analízis ↔ változó keresztmetszetű keretek kialakítási lehetőségei

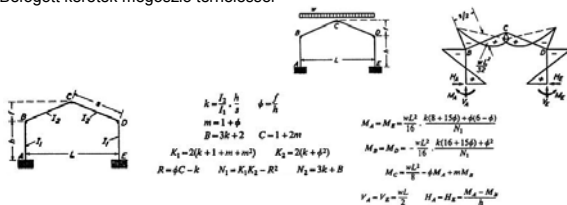


Rugalmas analízis



Befogott keretek ferde keretgerendával [Kleinlogel, 1930]

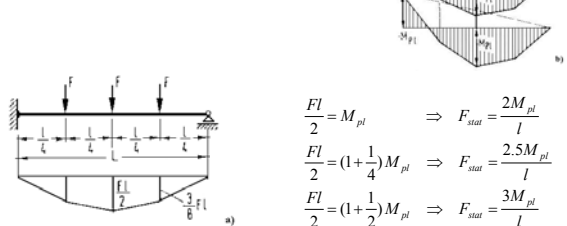
Befogott keretek megoszló terheléssel



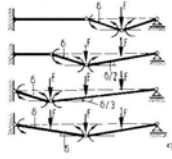
Képlékeny analízis:

- Mechanizmus feltétel } Kinematikai módszer
- Egységnyi feltétel } Statikai módszer
- Képlékeny nyomaték feltétel }

Statikai módszer:



Kinematikai módszer:



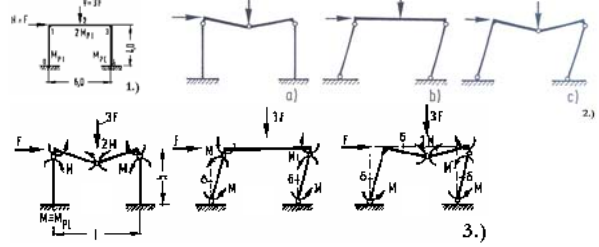
$$F\delta \frac{l}{4} - M_{pl}(\delta + 2\delta) = 0 \rightarrow F_{kzmax} = \frac{12M_{pl}}{l}$$

$$F\delta \frac{l}{4} + F\frac{\delta}{2} \frac{l}{4} + M_{pl}\left(\delta + \delta + \frac{\delta}{2}\right) = 0 \rightarrow F_{kzmax} = \frac{6,667M_{pl}}{l}$$

$$F\delta \frac{l}{4} + F\frac{\delta}{2} \frac{l}{2} + F\frac{\delta}{3} \frac{l}{4} - M_{pl}\left(\delta + \delta + \frac{\delta}{3}\right) = 0 \rightarrow F_{kzmax} = \frac{4,667M_{pl}}{l}$$

$$F\delta \frac{l}{2} + 2F\delta \frac{l}{4} - M_{pl}(\delta + 2\delta) = 0 \rightarrow F_{kzmax} = \frac{3M_{pl}}{l}$$

Képlékeny analízis: befogott keret vízszintes keretgerendával



a): $3F \cdot \frac{l}{2} \delta - (M + 2 \cdot 2M + M)\delta = 0 \rightarrow \frac{3}{2}Fl = 6M \rightarrow F = \frac{4M}{l}$

b): $F \cdot h\delta - (M + M + M + M)\delta = 0 \rightarrow Fh - 4M \rightarrow F = \frac{4M}{h}$

c): $3F \cdot \frac{l}{2} \delta + Fh\delta - (M + 2 \cdot 2M + M + M)\delta = 0 \rightarrow \frac{3}{2}Fl + Fh = 8M \rightarrow F = \frac{8M}{\frac{3}{2}l + h}$

a): $F = \frac{2}{3}M = 0,666M$

b): $F = M = 1,000M$

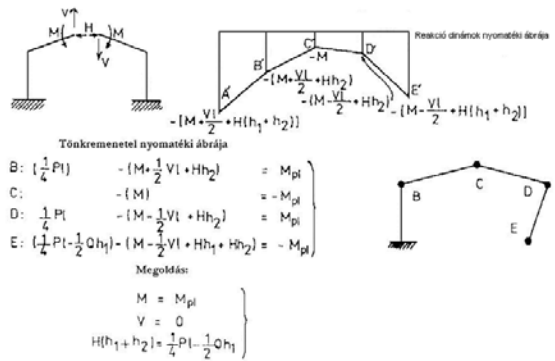
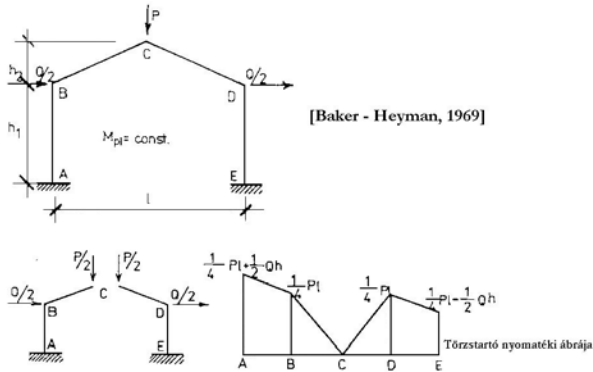
c): $F = \frac{8}{13}M = 0,615M$

$F_{pl} = \frac{8}{13}M_{pl}$

4.)

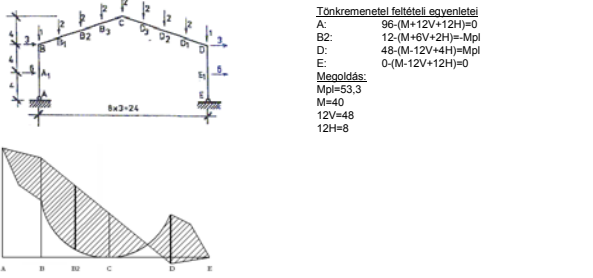
Képlékeny analízis

Példa: Befogott keret ferde keretgerendával



Képlékeny analízis

Példa: Cszuklós keret ferde keretgerendával [Baker-Heymann 1969]



Tönkrementeli feltételei egyenletei

A: $96 - (M + 12V + 12H) = 0$

B2: $12 - (M + 6V + 2H) = -M_{pl}$

D: $48 - (M - 12V + 4H) = M_{pl}$

E: $0 - (M - 12V + 12H) = 0$

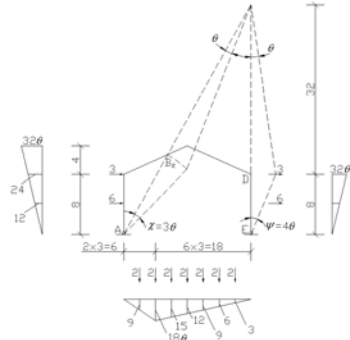
Megoldás:

$M_{pl} = 53,3$

$M = 40$

$12V = 48$

$12H = 8$



Keresztszemet	A	A ₁	B	B ₁	B ₂	C	D ₁	D ₂	D	E	E ₁		
Törzstartó nyomatéki ábra	96	60	48	27	12	3	0	3	12	27	48	36	0
Reakció dinámok nyomatéki ábrája	-96	-93,3	-90,7	-78	-65,3	-52,7	-40	-28,7	-17,3	-6	5,3	2,7	0
Nyomatéki ábra	0	-33,3	-42,7	-51	-53,3	-49,7	-40	-25,7	-5,3	21	53,3	38,7	0

$$\sum P_i \cdot V_i = \sum M_{pl} \cdot Q_i$$

$$2(9 \cdot 18 + 15 \cdot 12 + 9 \cdot 6 + 3 \cdot 0) + 32 \cdot \theta \cdot 3 + 16 \cdot \theta \cdot 6 + 24 \cdot \theta \cdot 3 + 12 \cdot \theta \cdot 6 = 480\theta$$

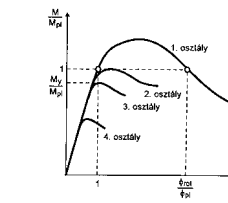
$$= M_{pl}(1 + 3 + 1 + 4)\theta = 9M_{pl} \cdot \theta$$

$M_{pl} = 53,3$

Rugalmas és képlékeny analízis

GERENDA	RUGALMAS NYOMATÉKI ÁBRA	$R_{pl} L / M_{pl}$	FOLYÁSI MECHANIZMUS	$R_{pl} L / M_{pl}$	r
		8,00		11,656	1,46
		10,45		11,656	1,12
		9,33		11,656	1,25
		8,55		11,656	1,36

Keresztmetszetek osztályozása

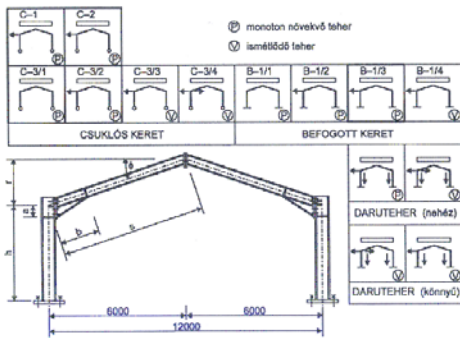


Nyomaték-elfordulási görbék [Halász, Iványi, 2001]

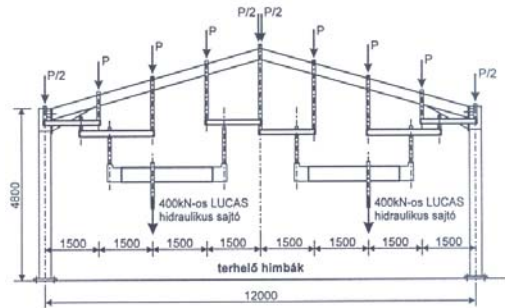
A csuklós modellje	Nyomaték-elfordulás	Előfordulási képtelenség	Ünnyel
	A csuklós modellje nem tartalmaz képlékeny nyomatékot	Elegendő	1
	A csuklós modellje nem tartalmaz képlékeny nyomatékot	Korlátozott	2
	A csuklós modellje tartalmaz képlékeny nyomatékot	Nincs	3
	A csuklós modellje tartalmaz képlékeny nyomatékot	Nincs	4

M_{pl} - keresztmetszeti rugalmas nyomaték-előfordulás
 M_{yk} - keresztmetszeti képlékeny nyomaték-előfordulás
 M_{yk} - képlékeny nyomaték
 θ_{yk} - képlékeny elfordulás (igényelt)
 θ_{yk} - képlékeny elfordulás (igényelt), amely a képlékeny feszültség-előfordulás kiakadályozásához szükséges

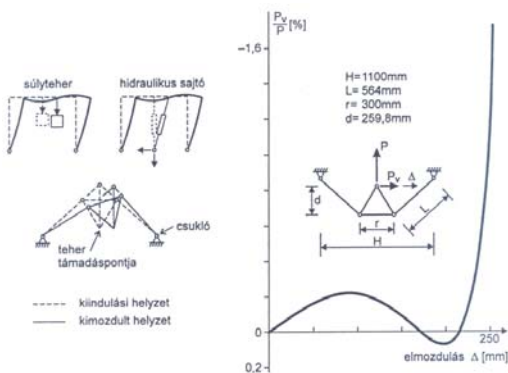
Kísérleti vizsgálatok eredményei



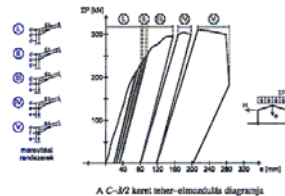
Kísérleti program statikailag határozatlan keretszerkezetek vizsgálatához



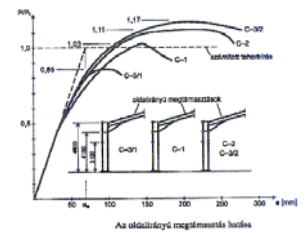
A keret függőleges terhelése



A gravitációsteher-szimulátor méretei és viselkedése



A C-3/2 keret terhelés-elmozdulás diagramja



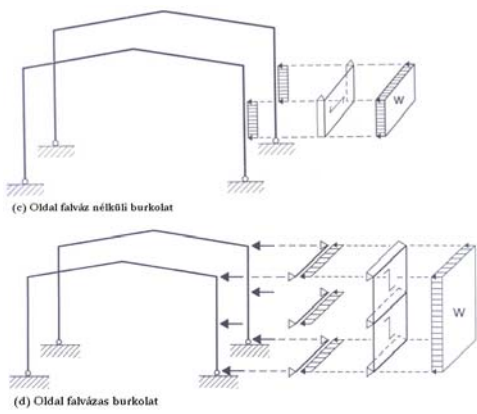
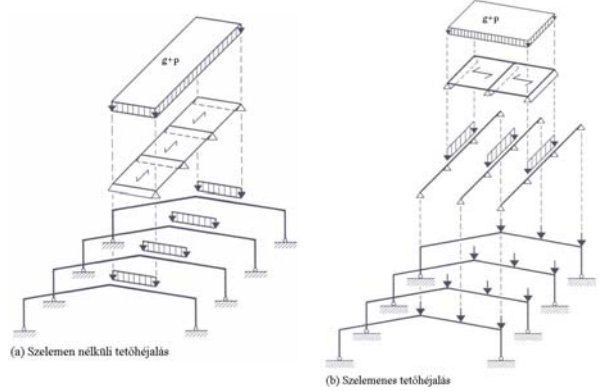
Az előmozdulás mértékének hatása

3. Előadás

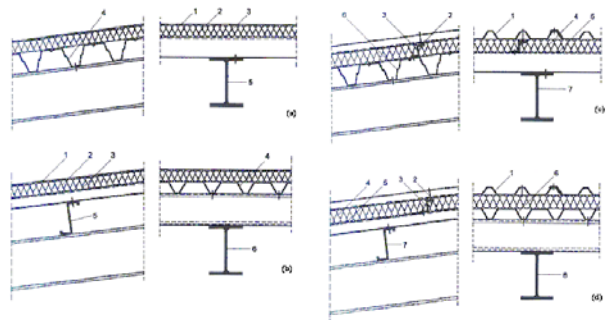
Másodlagos teherviselő szerkezeti elemek

- típusai, rendszerei
- erőtani tervezés elméleti alapjai
- kísérleti vizsgálatok

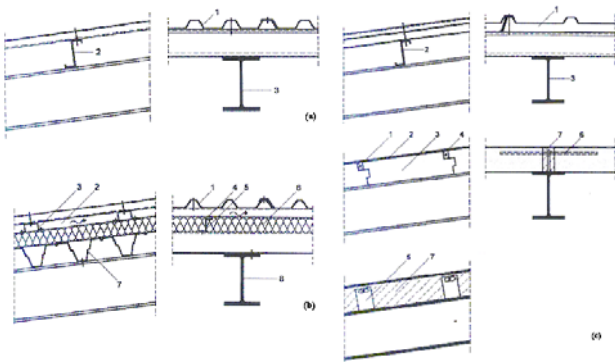
Másodlagos teherviselő szerkezeti elemek Szerkezeti kialakítások és a teherátadás



Hőszigetelt tetőhéjalás

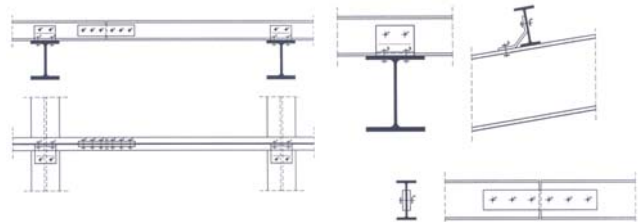


Hőszigetelés nélküli tetőhéjazatok

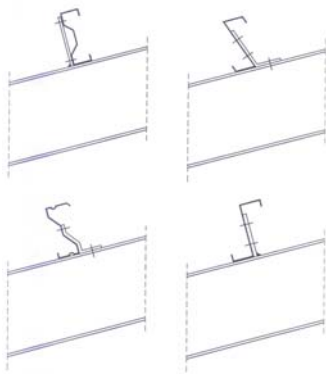


Szelemenek:

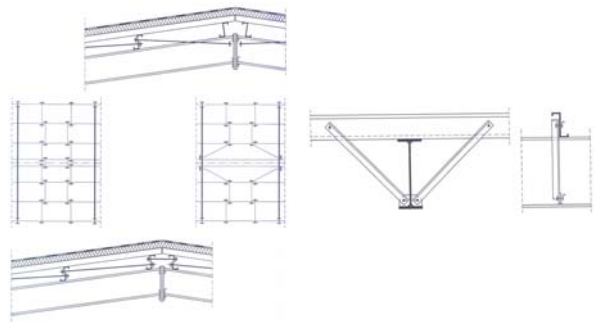
(A) Hengerelt szelvények



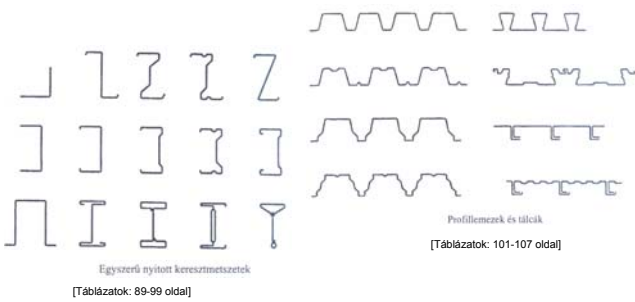
(B) Hidegen alakított szelvények



Szelemek megtámasztása a tető síkjában



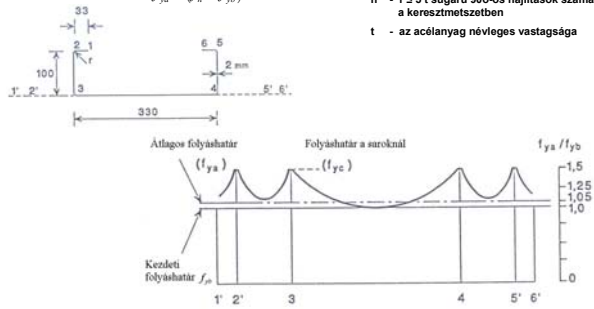
**Másodlagos teherviselő szerkezeti elemek:
Hidegen alakított szelvények MSZENV 1993-1-3-1996 (Április 1996)
Keresztmetszet alakja:**



**Hidegen alakított szelvények:
A folyáshatár változása a hidegalakítás hatására**

Az átlagos folyáshatár $f_{ya} = f_{yb} + (f_a - f_{yb})kn^2 / A_g$,
de $f_{ya} \leq (f_a + f_{yb})/2$

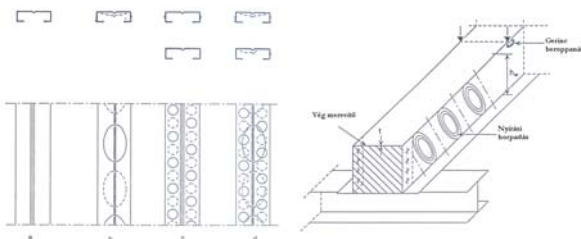
ahol
 A_g - a teljes keresztmetszeti terület
 k - megmunkálás módjától függő tényező
 $k = 7$ hideg hengerítés esetén
 $k = 5$ más egyéb alakítás esetén
 n - $r \leq 5t$ sugarú 90o-os hajlítások száma a keresztmetszetben
 t - az acélananyag névleges vastagsága



Hidegen alakított szelvények:

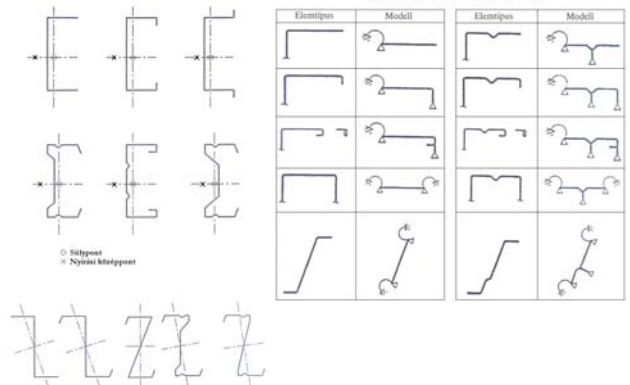
Lokális és globális instabilitások interakciója

A nyírás és a koncentrált erő hatása

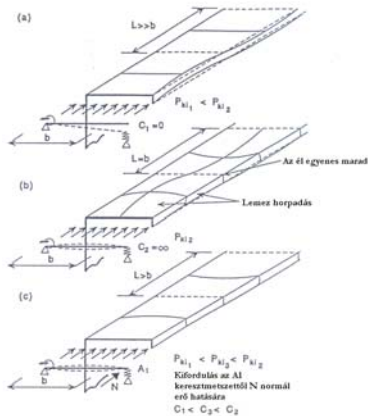


Hidegen alakított szelvények:

Keresztmetszet-analízis modelljei

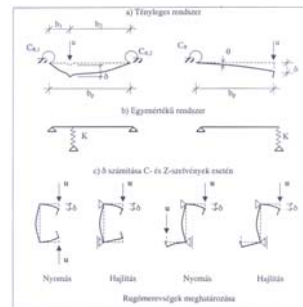


Perembordával merevített nyomott síkelem viselkedése és a tervezési modellek:



Hidegen alakított szelvények: Horpadás

Perembordával, vagy közbelső bordával merevített síkelemek:



- (1) A csavarrugó merevség C_1, C_2, C_3 és C_4 a keresztmetszeti geometriából történő meghatározás során figyelembe kell venni egyéb merevítő hatást is, melyek tagasára az elemre hatnak, valamint a keresztmetszet egyéb nyomott elemét is.
- (2) Peremborda esetén a δ lehajlás a következőképpen számítható:

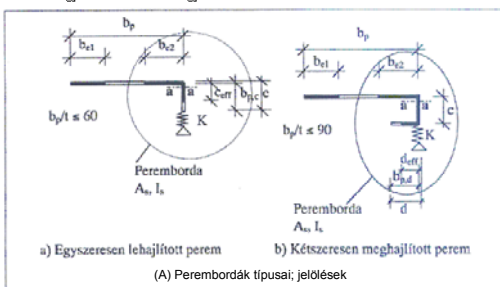
$$\delta = \delta_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{12I_1 - I_2^2}{8I_1^2}}{3}}$$
 ahol $\delta_0 = \lambda b_p / C_1$
- (3) C- és Z-szelvények esetén C_1 számítható a egyenes sík alakulására.
- (4) Közbeeső borda esetén a C_1 és C_2 rugómerevek részének vehetők, akkor ó a lehajlás a következőképpen számítható:

$$\delta = \frac{12I_1^2}{8(I_1 + I_2)} \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{12I_1 - I_2^2}{8I_1^2}}{3}}$$
- (5) A merevítőbordák kihajlások tartozó χ kihajlás tényezőhöz, amelyet az α_0 kihajlás gtebe (imperfections tényező $\alpha_0=0,13$) alapján tartozó viszonyított karcsúság $\bar{\chi}$ a következő:

$$\bar{\chi} = \sqrt{f_{y,ed} / \sigma_{cr}}$$
 ahol σ_{cr} a merevítő rugalmas kritikus feszültség.

Perembordával merevített síkelemek:

- (1) A perembordák lehetnek egyszer vagy kétszer hajlítottak, ahogy az ábrán látható. A perembordákat vagy a lehajlított peremeket csak akkor kell a felületelem támaszaként figyelembe venni, ha a felületelem merőleges síkkal bezárt hajlásszögük 45° és 135° között van, ha $c > 0,2b_p$ (c és b_p az ábra szerinti), és ha a b_p/f aránya kisebb, mint 60 egyszer hajlított peremnél és kisebb, mint 90 kétszer meghajlított peremnél. Egyéb esetekben figyelmen kívül kell hagyni őket.



- (2) A peremborda az (A) ábra szerinti együttdolgozó keresztmetszeti területe a (B) ábrán bemutatott általános eljárással határozható meg:

1. lépés: A peremborda kezdeti hatékony keresztmetszetét a hatékony szélesség módszerével határozzuk meg feltételezve, hogy a borda teljes megfogást ad, ekkor $\sigma_{com,ed} = f_{y,b} / \gamma_{M1}$
 2. lépés: A peremborda kezdeti hatékony keresztmetszetét felhasználva meghatározzuk a kihajláshoz tartozó csökkentő tényező értékét a lemezelem folyamatos rugalmas alátámasztását biztosítva,
 3. lépés: Iterációs eljárással pontosítjuk a peremborda kihajlási csökkentő tényezőjének értékét
- (3) A b_{e1} és b_{e2} hatékony szélességeket az (A) ábra mutat, melyeket kéttámaszú b_p síkelemet feltételezve számítunk ki

- (4) A c_{eff} és d_{eff} hatékony szélességeket a következőképpen számítjuk:

a) Egyszeresen lehajlított perem

$c_{eff} = b_{p,c}$

ahol p a szokásos eljárás szerint értelmezendő, kivéve a következő k_0 horpadási tényezőket:

$k_0 = 0,5$ ha $b_{p,c} / b_p \leq 0,35$
 $k_0 = 0,5 + 0,83 \cdot \sqrt{\frac{b_{p,c}}{b_p} - 0,35}$ ha $0,35 < b_{p,c} / b_p \leq 0,6$

b) Kétszeresen meghajlított perem

A c és d méreteket a c_{eff} illetve d_{eff} együttdolgozó lemezszélességre kell csökkenteni kéttámaszú, illetve egy oldalon megtámasztott szerkezeti elemek esetén:

- (5) A hatékony peremkeresztmetszet keresztmetszete a következőképpen számítható:

$A_n = (b_{e2} + c_{eff} + d_{eff}) \cdot t$

- (6) A peremborda rugalmas kritikus kihajlási feszültsége a következő összefüggésből adódik:

$$\sigma_{cr} = 2 \cdot \sqrt{\frac{KE I_n}{A_n}}$$

ahol

K = a rugómerevség
 I_n = az A_n hatékony keresztmetszeti területű peremborda hatékony másodrendű nyomatéka a hatékony keresztmetszet a-a semleges tengelyére meghatározva.

- (7) A peremborda kihajláshoz tartozó χ kihajlási tényező σ_{cr} segítségével határozunk meg.

- (8) Ha $\chi < 1$ értékét iteratív eljárással pontosítani lehet egy módosított ρ induló érték alkalmazva a szokásos eljárás szerint $\sigma_{com,ed} = \chi f_{y,b} / \gamma_{M1}$ értéket felhasználva:

$$\bar{\chi}_{p,ed} = \bar{\chi}_p \sqrt{\chi}$$

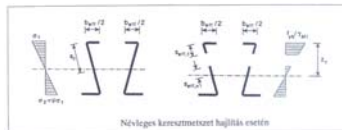
- (9) Ha az iterációt választjuk, addig kell folytatni, amíg χ aktuális értéke majdnem azonos, de semmiképpen sem több, mint az előző számított érték.

- (11) A hatékony keresztmetszeti jellemzők, a redukált hatékony A_{red} terület számításánál redukált lemezvastagságokat $t_{red} = \chi t$ kell figyelembe venni a peremgerendát alkotó lemezlemezknél.
- (12) Használhatósági állapotban a hatékony keresztmetszeti jellemzők számításánál a tervezési lemezvastagságokat t kell figyelembe venni.

(B) Az perembordával merevített öv nyomási ellenállása	
	a) Teljes keresztmetszet és peremfeltételek
	b) I. lépés: Hatékony keresztmetszet $K = \infty$ a $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1}$ feltételezésével

	c) 2. lépés: A rugalmas kritikus feszültség σ_{cr} meghatározása az 1. lépésben számított A_e területen.
	d) $\sigma_{cr} / \gamma_{M1}$ redukált feszültség meghatározása az A_e területen a σ_{cr} alapján meghatározott χ csökkentő tényező segítségével.
	e) A peremborda effektív szélességéhez tartozó t_{red} redukált vastagság számítása a σ_{cr} alapján meghatározott χ csökkentő tényező segítségével.
	f) 3. lépés: Ismételjük a 2. lépést, a peremborda redukált hatékony keresztmetszetét A_{red} alkalmazva egészen addig, míg $Z_e \approx Z_{e-1}$, $d_e \leq Z_{e-1}$.
	g) Alkalmazzuk a Z_{e0} csökkentő tényezőhöz tartozó b_{e0} , c_{ef} és t_{red} értékeket a hatékony keresztmetszet számításához.

Hajlított szerkezeti rudak:



Részlegesen képlékeny méretezés

(1) Ha az alábbi feltételek kielégülnek, a nyomott zóna képlékeny tartáléka is kihasználható az alakváltozás következő pontban megadott mértékéig:

$$M_{c,Ed} = \frac{f_y W_{eff}}{\gamma_{M1}}$$

- (a) A hajlítónyomaték az egyik főtengely körül hat.
 (b) A szerkezeti elem csavarással, vagy rúta elcsavarásával, elosvarodó kihajlít vagy kiférfelület okozó ügrybevitellel nem terhelt.
 (c) A keresztmetszet nyomott részének torzulása gátolt.
 (d) A gerincnek a függőlegessel bezárt szöge egyik esetben sem haladja meg a 30° -ot.
 (e) A gerinc nyomott részének magasság/vastagság aránya (s/t) nem haladja meg az $1.1 \sqrt{E/t_f}$ értéket ($\approx 33,18\epsilon$).

$$f_y \rightarrow f_{y0} \rightarrow f_{yb}$$

(2) Az $s_{max,Ed}$ hajlágos összenyomódás nem haladhatja meg a $C_y s_y / \gamma_{M1}$ értéket, ahol $s_y = f_{yb} t$, a C_y a következőképpen meghatározott tényező:

- küzbelső merevítés nélküli kétfázisú szerkezeti elemek esetén:

$$\text{ha } \frac{s_y}{t} \leq 1.11 \sqrt{\frac{E}{t_f}} \quad (\approx 33,18\epsilon) \quad C_y = 3$$

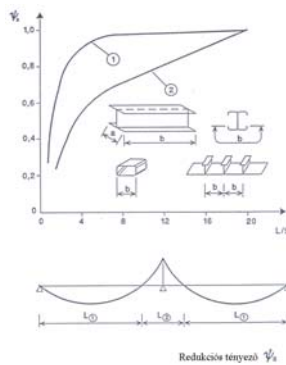
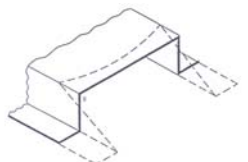
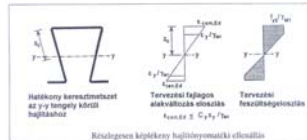
$$\text{ha } 1.11 \sqrt{\frac{E}{t_f}} < \frac{s_y}{t} < 1.29 \sqrt{\frac{E}{t_f}} \quad (\text{azaz ha } 33,18\epsilon < \frac{s_y}{t} < 38,56\epsilon)$$

$$C_y = 3 - \frac{\left(\frac{s_y}{t} \sqrt{\frac{E}{t_f}} - 1.11 \right)}{0.09} \left(3 - \frac{\left(\frac{s_y}{t} - 33,18\epsilon \right)}{2.69\epsilon} \right)$$

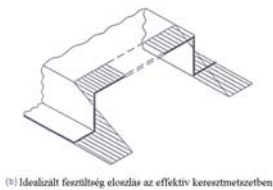
$$\text{ha } \frac{s_y}{t} \geq 1.29 \sqrt{\frac{E}{t_f}} \quad (\approx 38,56\epsilon) \quad C_y = 1$$

- egy oldalon megísmáztott szerkezeti elemek esetén: $C_y = 1$
- merevített szerkezeti elemek (küzbelső- vagy peremborda) $C_y = 1$

(3) Ebben az esetben a W_{pl} részlegesen képlékeny keresztmetszeti modulus a mind a húzó, mind a nyomott zónában bilineáris feszültségeloszlás felteletézésével kápjuk



$$b_{eff} = \psi_s * \rho * b_p$$



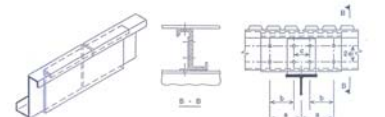
Szelemen méretezése

Szelemen keresztmetszetek:

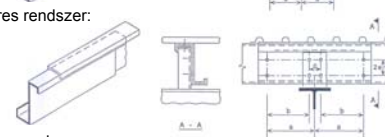


Illesztés:

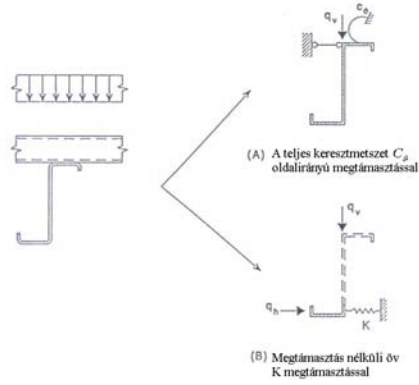
(a) Hevederes rendszer:



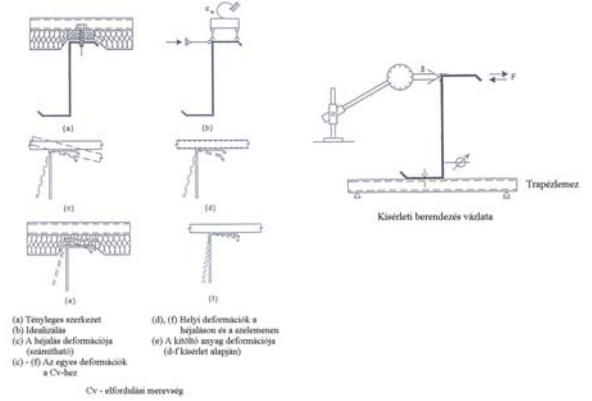
(b) Átfedékes rendszer:



Méretezési modellek a megtámasztás nélküli ív vizsgálatához

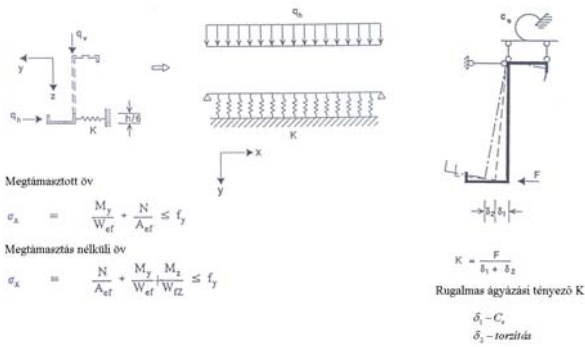


Szelemen méretezés: 1. változat

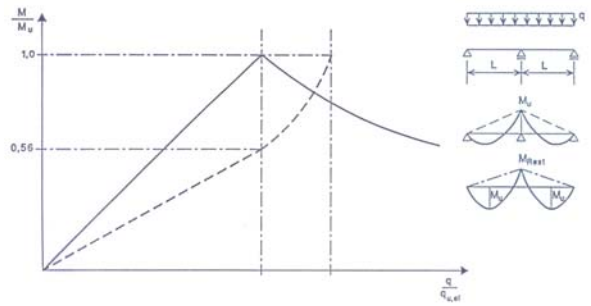


Szelemen méretezés:

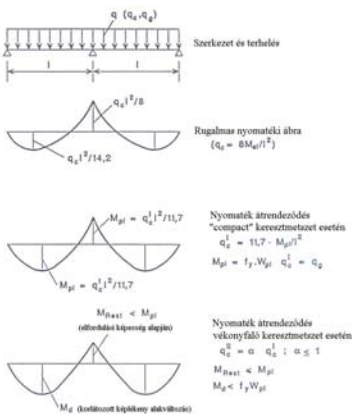
2. változat



Töbttámaszú szelemen méretezése:



Számítási eljárás a nyomaték elrendezése esetén:

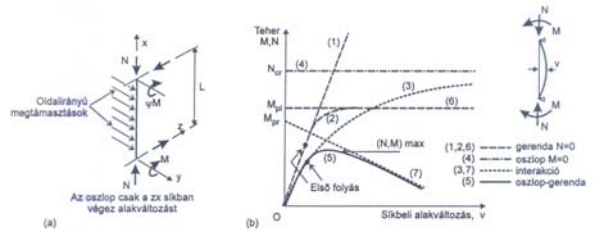


4. Előadás

Szerkezeti elemek teherbírásvizsgálata összetett terhelés esetén:

- interakciós formulák elméleti alapjai
- kísérleti vizsgálatok szerepe

1. A nyomott-hajlított elemek síkbeli viselkedése



1. ábra: Nyomott-hajlított elemek síkbeli viselkedése

1.1. A keresztmetszet viselkedése

1.1.1. Hajlítás és normálterő 1. és 2. osztályú keresztmetszetek esetén

Ha megengedjük a teljes képlékenyedés kialakulását, akkor egyidejű normálterő és hajlítónyomaték esetén a tönkremenetel feltétele (2. ábra) az alábbi alakban adható meg.

(a) eset: Ha $y_n \leq (h - t_f) / 2$, akkor a semleges tengely a gerincben van, és

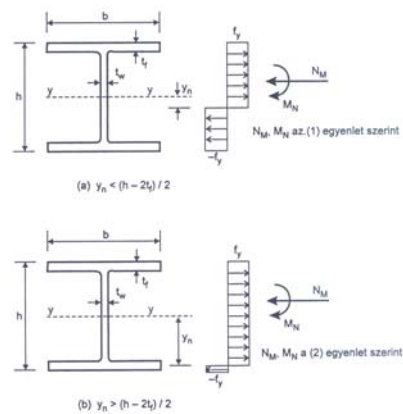
$$N_M = 2 f_y t_w y_n;$$

$$M_N = f_y b t_f (h - t_f) + f_y \left[\left(\frac{h - 2t_f}{2} \right)^2 - y_n^2 \right] t_w. \quad (1)$$

(b) eset: Ha $y_n > (h - t_f) / 2$, akkor a semleges tengely az övben van, és

$$N_M = f_y \left[t_w (h - 2t_f) + 2b \left(t_f - \frac{h}{2} + y_n \right) \right];$$

$$M_N = f_y b \left(\frac{h}{2} - y_n \right) (h - y_n) t_f. \quad (2)$$



2. ábra: Teljes képlékenyedés normálterő és nyomaték hatására

A 3. ábra az (1) és (2) egyenleteket hasonlítja össze az Eurocode 3 által használt közelítő képletekkel [EC3: 5.4.8.1.]:

$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,y} (1 - n) / (1 - 0,5a), \text{ de } M_{Ny,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}, \quad (3)$$

ahol $n = N_{Sd} / N_{pl,Rd}$ a normálterő és az $f_y A$ nagyságú, teljes képlékenyedést okozó teher hányadosa, továbbá $a = (A - 2bt_f) / A \leq 0,5$.

Azokra a keresztmetszetekre, amelyekben nincsenek csavarlyukak, a z tengely körüli hajlítás esetén a következő közelítések alkalmazhatóak [EC3: 5.4.8.1.]:

- ha $n \leq a$:

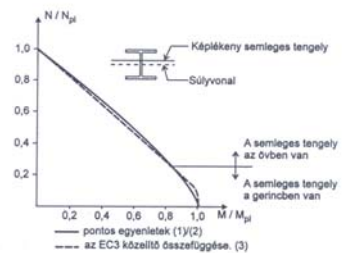
$$M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd};$$

- ha $n > a$:

$$M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \frac{(n - a)^2}{1 - a} \right],$$

ahol $n = N_{Sd} / N_{pl,Rd}$, továbbá $a = (A - 2bt_f) / A$, de $a \leq 0,5$.

Néhány gyakori keresztmetszeti alakra további közelítő összefüggéseket az 1. táblázat tartalmaz. M_N értéke természetesen egyik esetben sem haladhatja meg M_{pl} értéket.



3. ábra: A teljes képlékenyedéshez tartozó kölcsönhatási görbe – HEA 450 szelvény, erős tengely körüli hajlítás

1.1.2. Hajlítás és normálerő 3. osztályú keresztmetszetek esetén

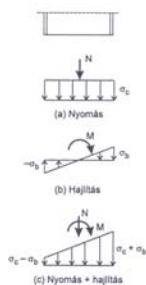
A 4. ábra egy H szelvényű oszlop valamely keresztmetszetét mutatja, amelyben a nyomóerő és az y tengely körüli hajlítónyomaték a 4.a-b ábrákon bemutatott egyenletes és változó feszültségeloszlást okozza.

Rugalmas viselkedés esetén a szuperpozíció elve alkalmazható, így a két feszültségeloszlás egyszerűen összeadható (4.c ábra). Az első folyás tehát a keresztmetszet szélső szálában alakul ki, a maximális nyomófeszültség helyén. A feltétel így írható:

$$f_y = \sigma_c + \sigma_b,$$

ahol

- f_y az anyag folyáshatára,
- $\sigma_c = N / A$ a nyomóerőből származó feszültség,
- $\sigma_b = \frac{Mh/2}{I}$ a nyomatékból származó maximális nyomófeszültség, ahol h a szelvény teljes magassága, I pedig az y tengelyre vonatkozó tehetetlenségi nyomaték.



4. ábra: Nyomott-hajlított keresztmetszet rugalmas viselkedése

A 3. osztályba tartozó keresztmetszet akkor felel meg, ha a $\sigma_{x.Ed}$ maximális normál-feszültség kielégíti az alábbi feltételt [EC3: 5.4.8.2.]:

$$\sigma_{x.Ed} \leq f_{yd}$$

ahol $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$.

1.1.3. Hajlítás és normálerő 4. osztályú keresztmetszetek esetén

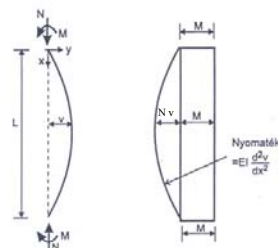
A 4. osztályba tartozó keresztmetszet akkor felel meg, ha a nyomott lemezelemek hatékony szélességével az EC3 5.3.2. szakasz (2) bekezdése szerint számított maximális normál-feszültség kielégíti a következő feltételt [EC3: 5.4.8.3.]:

$$\sigma_{x.Ed} \leq f_{yd}$$

ahol $f_{yd} = f_y / \gamma_{M0}$.

1.2. Globális stabilitás

A keresztmetszeti viselkedés előző fejezetben bemutatott kezelése nem foglalkozott azzal, hogy pontosan hogyan állítottuk elő a vizsgált keresztmetszetre működő M nyomatékokat. Az 5. ábra a nyomott-hajlított elem oldalirányú alakváltozását mutatja egyidejű nyomás és egyenlő nagyságú, ellentétes előjelű végnyomatékok hatására.



5. ábra: Elsődleges és másodlagos hajlítónyomaték

A hajlítónyomatéki igénybevétel az elem bármely keresztmetszetében két tag összegzések tekinthető, ahol

- az első tag az elsődleges M nyomatékból származik,
- a második pedig a másodlagos $N \cdot v$ nyomatékból.

A probléma rugalmas vizsgálata megadja a középpont legnagyobb eltolódását [5]:

$$v_{max} = \frac{M}{N} \sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{N}{P_{Ey}}} - 1, \quad (4)$$

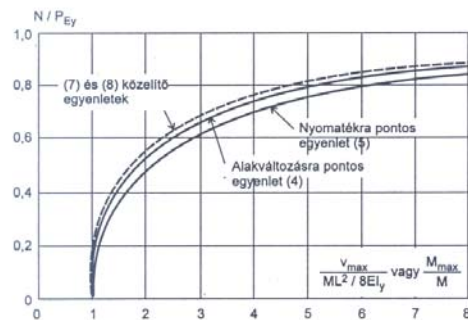
ahol

$$P_{Ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{L^2}$$

az Euler-féle kritikus teher erős tengely körüli kihajlás esetén, míg a maximális nyomaték:

$$M_{max} = M \sec \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{N}{P_{Ey}}}. \quad (5)$$

Az M nyomaték előzőek szerinti szorzótényezője mindkét egyenletben helyettesíthető, hiszen mind az önállóan működő végnyomatékokból származó elsőrendű eltolódást, mind pedig a klasszikus hajlítási elméletből számítható elsőrendű M nyomatékokat közelítőleg a következő tényezővel kell szorozni:



6. ábra: Egyenlő végnyomatékkal terhelt, nyomott-hajlított elemek maximális eltolódása és nyomatéka

$$\frac{1}{1 - N / P_{Ey}} \quad (6)$$

Ezt mutatja a 6. ábra. Ekkor:

$$v_{\max} = \frac{ML^2}{8EI} \frac{1}{1 - N/P_{Ey}}; \quad (7)$$

$$M_{\max} = M \frac{1}{1 - N/P_{Ey}}. \quad (8)$$

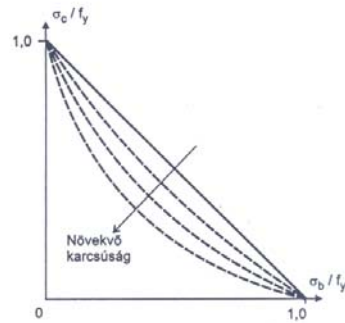
Míhthogy a maximális rugalmas feszültség:

$$\sigma_{\max} = \sigma_y + \sigma_s \frac{M_{\max}}{M}, \quad (9)$$

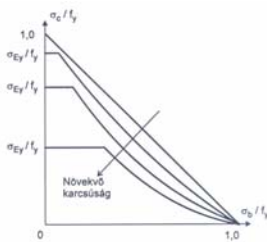
a (9) egyenlet a következő alakban írható:

$$\frac{\sigma_c}{f_y} + \frac{\sigma_s}{f_y(1 - N/P_{Ey})} = 1,0. \quad (10)$$

A (10) egyenlethől különböző P_{Ey} értékek esetén meghatározhatók a folyást okozó összetartozó σ_c és σ_s értékek (P_{Ey} az L/r_y karcsúságtól függ). Ez egy görbesereget ad, amelyet a 7. ábrán szemléltet. Az ábrán látható, hogy amennyiben σ_s zérushoz tart, σ_c az anyag f_y folyási szilárdságához közelít. Ez azt jelenti, hogy a (10) egyenlet nem tartalmazza a tiszta nyomás hatására σ_y feszültségnél bekövetkező kihajlás lehetőségét:



7. ábra: A (10) egyenlet alakja



8. ábra: A (10) és (11) egyenletek kombinációja

$$\sigma_{Ey} = \frac{P_{Ey}}{A} = \frac{\pi^2 EI_y}{AL^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}. \quad (11)$$

Mindkét feltétel figyelembevételét a (10) és a (11) egyenlet együttes alkalmazása biztosítja, (8. ábra).

2. Nyomott-hajlított elemek kifordulása

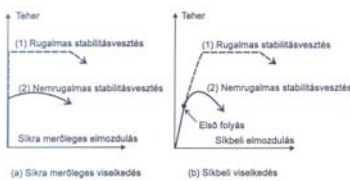
Ha egy oldalirányban nem megtámasztott gerendát az erősebb tengelye körül hajlítunk (10. ábra), akkor oldalirányú kitéréssel és elcsavarodással járó stabilitásvesztés következhet be, a síkbeli vizsgálat által jóslott maximális terhelésnél lényegesen kisebb teher szinten. Ez a kifordulás létrejöhet az elem rugalmas állapotában (lásd a 11. ábra 1. görbét), vagy bizonyos fokú képlékenyedés után (2. görbe), amelyet a fellépő hajlítás és nyomás okoz.

2.1. Kifordulás

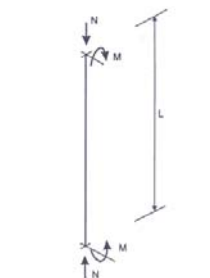
Tekintsük egy oldalirányban nem megtámasztott, erősebb tengelye körül hajlított nyomott-hajlított elem kifordulási viselkedését. Feltételezve, hogy a viselkedés rugalmas, és a terhelési és megtámasztási viszonyok a 12. ábra szerinti, a normálerő és a hajlítónyomaték kritikus kombinációi Chen és Atsuta megoldásából nyerhetők:



10. ábra: Kifordulási viselkedés



11. ábra: Nyomott-hajlított elemek kifordulása



12. ábra: A kifordulás alapesete

$$\frac{M^2}{I_y^2 P_{Ez} P_{E0}} = \left(1 - \frac{N}{P_{Ez}}\right) \left(1 - \frac{N}{P_{E0}}\right), \quad (15)$$

ahol

- $i_0 = \sqrt{\frac{I_y + I_z}{A}}$ a poláris inerciasugár;
- $P_{Ez} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2}$ a gyengébb tengelyre vonatkozó kritikus teher;
- $P_{E0} = \frac{GI_c}{i_0^2} \left(1 + \frac{\pi^2 EI_w}{GI_c L^2} \right)$ a tisztán elcsavarodó kihajláshoz tartozó kritikus teher.

Ha N tart zérushoz, akkor a (15) egyenlet a gerenda kifordulásának összefüggésére redukálódik, míg ha M tart zérushoz, akkor az oszlop síkbeli kihajlása (P_{Ez}) vagy tisztán elcsavarodó kihajlása (P_{E0}) képletét adja. Az első esetben M kritikus értéke a következőre adódik:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_c GI_c} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GI_c}}, \quad (16)$$

ahol

- EI_c a gyenge tengelyre vonatkozó hajlítási merevség,
- GI_c a csavarási merevség,
- EI_w az oblusodási merevség.

A (15) egyenlet levezetésénél nem vettük figyelembe, hogy a síkbeli nyomtatók megnöhetnek amiatt, hogy a normálterő egy síkbeli alakváltozást szenvedett tartóra működik. Ezt közelítőleg az

$$\frac{M}{1 - N/P_{Ez}}$$

szorzótényezővel lehet figyelembe venni. Következésképpen a (15) egyenlet a következőképpen módosítható:

$$\frac{M^2}{i_0^2 P_{Ez} P_{E0}} = \left(1 - \frac{N}{P_{Ez}} \right) \left(1 - \frac{N}{P_{E0}} \right). \quad (17)$$

Figyelembe véve P_{Ez} , P_{Ez} és P_{E0} relatív nagyságát, és az egyenletet átrendezve a következő közelítést kapjuk:

$$\frac{N}{P_{Ez}} + \frac{1}{1 - N/P_{Ez}} \frac{M}{i_0 \sqrt{P_{Ez} P_{E0}}} = 1 \quad (18)$$

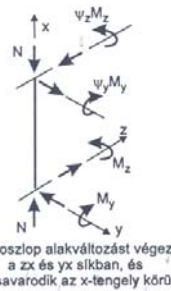
vagy

$$\frac{N}{P_{Ez}} + \frac{1}{1 - N/P_{Ez}} \frac{M}{M_{cr}} = 1. \quad (19)$$

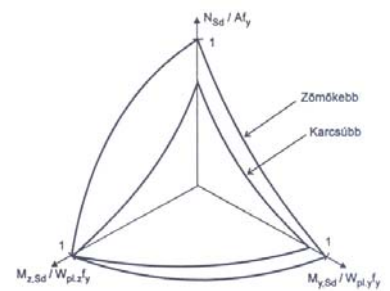
3. Nyomott-hajlított elemek kéttengelyű hajlítás esetén

A teljes háromdimenziós eset vizsgálata, még az egyszerű rugalmas módon is, rendkívül összetett, és nem állnak rendelkezésre zárt képletek. A megfelelő tervezési eljárás kérdésének analitikus megközelítése helyett célravezetőbb, ha a viselkedésre vonatkozó megfontolásokból és az egyszerűbb esetekre már kidolgozott módszerekből indulunk ki (14. ábra).

A 15. ábra diagramos formában mutatja be a tervezési követelményt. Az N - M_x és N - M_y tengelyek a két, már vizsgált egytengelyű esetnek felelnek meg. Az M_x és M_y nyomatékok kölcsönhatása a vízszintes síkban felel meg. Amikor mindhárom terhelési komponens (N , M_x és M_y) egyaránt jelen van, a létrejövő interakció valahol a diagram által bemutatott háromdimenziós térben helyezkedik el. Bármely, a határfelületen belül elhelyezkedő pont biztonságos teherkombinációt jelent.



14. ábra: Kéttengelyű hajlítás



15. ábra: Interakciós diagram kéttengelyű hajlítás esetén

Az Eurocode 3 eljárása

Állandó keresztmetszetű hajlított és nyomott rudak [prEN 1993-1-1:2002, 6.3.3]

Hajlított és tengelyirányban nyomott rudaknak ki kell elégíteni:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} N_{Rk}} + k_{yz} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} M_{z,Rk}} \leq 1$$

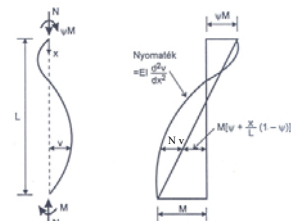
$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} N_{Rk}} + k_{xy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} + k_{xy} \frac{M_{x,Ed} + \Delta M_{x,Ed}}{\gamma_{M1} M_{x,Rk}} \leq 1$$

ahol: N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ és $M_{z,Ed}$ a nyomóerő, az y - y és a z - z tengelyre vett maximális nyomatékok tervezési értékei
 ΔM_y , ΔM_z a súlypont eltolódásából származó nyomatékok
 γ_{M1} a kihajlási csökkentő tényező
 k_{yz} a kifordulási csökkentő tényező
 k_{xy} , k_{yz} , k_{zx} interakciós tényezők, meghatározásukra két módszer adott.

NRk = fy A, Mi,Rk = fy Wi és ΔMi,Ed értékei:

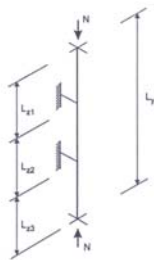
Km-csoport	1	2	3	4
A	A	A	A	A _{eff}
W _y	W _{pl,y}	W _{pl,y}	W _{d,y}	W _{eff,y}
W _z	W _{pl,z}	W _{pl,z}	W _{d,z}	W _{eff,z}
ΔM _y	0	0	0	c _{Nz} N _{Ed}
ΔM _z	0	0	0	c _{Ny} N _{Ed}

Visszatérve a 9. ábrához, elförordulhat, hogy a maximális nyomaték az elemnek azon a végén keletkezik, amelyiken a nagyobb elsőfokú nyomaték működik. Ez az eset általában akkor áll elő, ha a normálterő és/vagy a karcúság kiesi – ilyenkor esekéylek ugyanis a másodlagos nyomatéki hatások. Ekkor a mértékadó feltétel az lesz, hogy megfelelő keresztmetszeti ellenállást biztosítsunk az elemvégnél. Következésképpen a 2. táblázatban az adott szelvényalakhoz tartozó képletet kell használni. Azokban az esetekben, ha csak az állandó nyomatéki eloszlást ($\psi = 1,0$) vesszük figyelembe, a (12) egyenlettel adott globális kihajlási ellenőrzés mindig kedvezőlenebb lesz a keresztmetszeti ellenőrzésnél (vagy szélső esetben megegyezik vele), tehát ez utóbbit nem szükséges külön elvégezni.



9. ábra: Változó nyomaték esete

Természetesen meg kell gátolni a hajlítás síkjában bekövetkező azon tönkremenetelt is, amelyet a túlzott síkbeli alakváltozások okozhatnak. Ez például bekövetkezhet olyan helyzetekben, amikor különböző rácsozási és/vagy megtámasztási viszonyok vannak az xy és xz síkban (13. ábra).



13. ábra: Az xy és xz síkban különböző megtámasztással rendelkező oszlop

6. Rudak és keretek kihajlás-vizsgálatának általános módszere [prEN 1993-1-1:2002, 6.3.4]

- (a) változó keresztmetszetű rudak,
- (b) torzítási hatás figyelembevétele,
- (c) egytengelyű hajlítással, nyomóerővel és nyírással terhelt rudak,
- (d) különleges végkeresztmetszeti megtámasztások
- (e) keretek, melyek rúdjai az (a)-(d) eseteket tartalmazzák.

(i) Keretekre, melyek gerendákból, vagy oszlopokból, vagy oszlop-gerendákból állnak és egytengelyű hajlítással és nyomóerővel terhelték, az elcsavarodó kihajlás, vagyis a keret síkjából való eltolódás esetén az ellenállás ellenőrzése:

$$\frac{\chi_{LT} \alpha_{eff}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0$$

ahol:

χ_{LT} a kifordulási csökkentő tényező

α_{eff} a minimális teherparaméter tervezési értéke a keret legkritikusabb keresztmetszetének karakterisztikus ellenállása a kifordulás figyelembevétele nélkül, de a keretsíkban bekövetkező másodrendű hatások számításbavételével.

A relatív karcsúság:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_{eff}}{\alpha_{crit}}}$$

ahol: α_{crit} a minimális teherparaméter tervezési értéke a keret rugalmas kritikus ellenállása a kifordulás figyelembevételevel.

α_{crit} és α_{eff} meghatározható végeselemes analízis segítségével is, olyan elemeket és megoldásokat alkalmazva, melyekkel a megfelelő típusú alakváltozások modellezhetők. α_{crit} meghatározásánál a számítási modell figyelembe kell vegye a kifordulási és csavarási hatásokat.

α_{eff} meghatározásánál a keresztmetszet vetemedése és bármely megfogási hatás (pl. merevítő, egyszerű vagy folytatódó övkapcsolatok) is figyelembe vehetők.

Kísérletek (Fukumoto, 1982)

(A) σ_x / F_y , σ_x / F_x és E / E_s hisztogramok

(B) ECCS Oszlop görbék

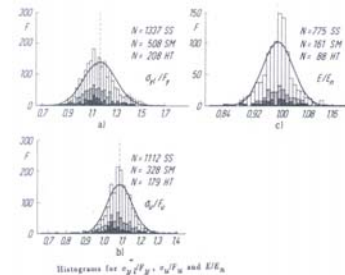
(a) (F_y aktuális értékét használva)

(b) (F_x nominális értékét használva)

(C) NDSS rendszer gerenda kifordulási görbéi

(D) NDSS rendszer

Kísérleti eredmények e gyűjteményű nyomott lemezekre



Histograms for σ_x / F_y , σ_x / F_x and E / E_s

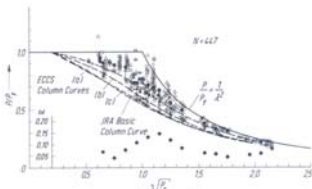
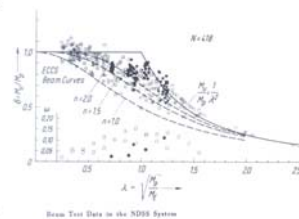
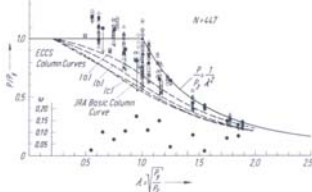
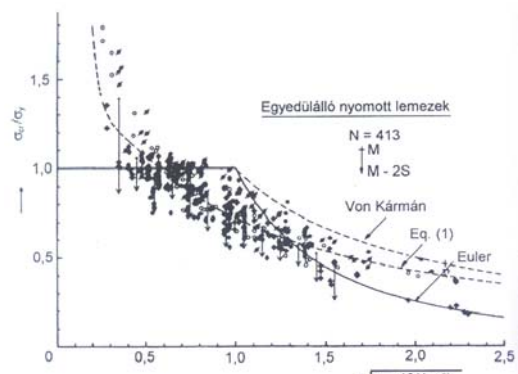


Fig. 13 a. Scatter of Test Results by ECCS Column Test (using actual F_y)



Beam Test Data in the NDSS System



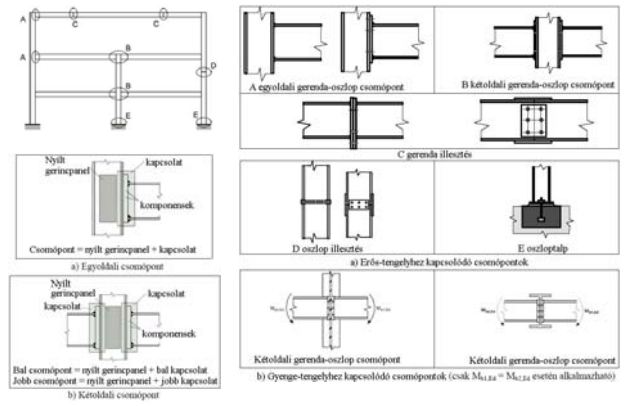
E-1 ábra Kísérleti eredmények egyedülálló nyomott lemezekre

5. Előadás

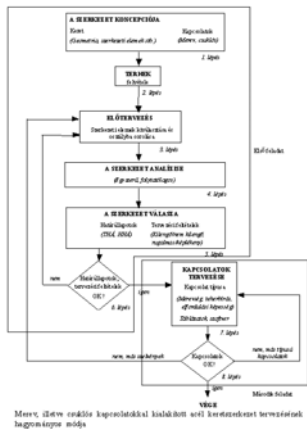
Szerkezeti kapcsolatok tervezése

- Oszloptalpak
- Homloklemezes kapcsolatok
- Egyéb kapcsolatok

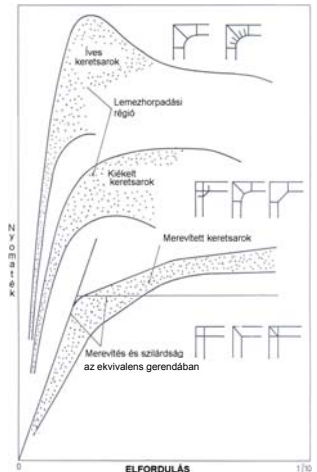
Szerkezeti kapcsolatok formái



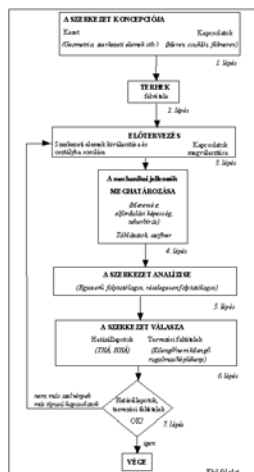
Hagyományos méretezési mód:



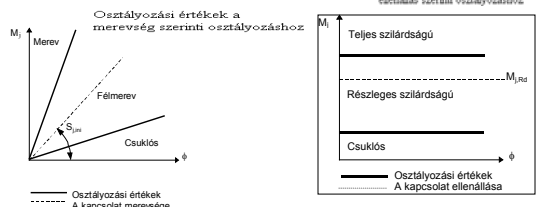
Szerkezeti kapcsolatok kísérleti vizsgálatai



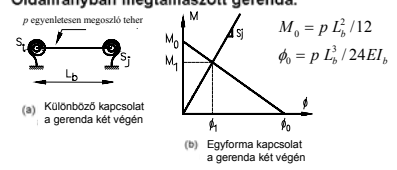
Következetes méretezési mód



Kapcsolatok osztályozása



Oldalirányban megtámaszott gerenda:



Előtervezés

Ajánlások kapcsolatok ellenállítására az előtervezéshez

Kapcsolat kialakítása	Egyoldali kapcsolat ellenállítás a (Mf.34)	Kétoldali kapcsolat ellenállítás a (Mf.34)
Egyszerű Közepesen bonyolult Bonyolult	0 $\leq 5f_s \cdot z_i^2 / \gamma_u$ $= 5f_s \cdot z_k^2 / \gamma_u$	0 $\leq 7f_s \cdot z_i^2 / \gamma_u$ $= 7f_s \cdot z_k^2 / \gamma_u$
Jelölések: z a nyomófelületek és a húzófelületek esedőjének távolsága f_s az oszlop övkezelésének folyó határa t_{fc} az oszlop övkezelésének vastagsága γ_{1f} a szerkezeti elemek ellenállításához tartozó biztonsági tényező		

Ajánlások a kapcsolatok merevségére az előtervezéshez:

$$S_{j,app} = E \cdot z^2 \cdot t_{fc} / C \quad \text{ahol: } z \text{ erőkar, } t_{fc} \text{ oszlopöv vastagsága, } C \text{ tényező}$$

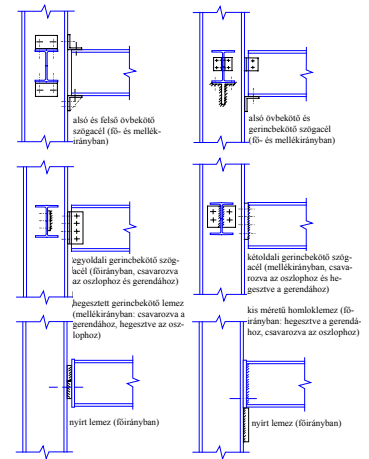
Kapcsolat elrendezése	C
Túlnyúló homloklemez, egyoldali, merevítetlen ($\beta = 1$)	13
Túlnyúló homloklemez, kétoldali, merevítetlen, szimmetrikus ($\beta = 0$)	7,5
Túlnyúló homloklemez, egyoldali, a húzott és a nyomott zónában merevített ($\beta = 1$)	8,5
Túlnyúló homloklemez, kétoldali, a húzott és a nyomott zónában merevített, szimmetrikus ($\beta = 0$)	3
Túlnyúló homloklemez, egyoldali, Morris-féle merevítéssel ($\beta = 1$)	3

Folyt.köv.

Kapcsolat elrendezése	C
Nem túlnyúló homloklemez, egyoldali ($\beta = 1$)	14
Nem túlnyúló homloklemez, kétoldali, szimmetrikus ($\beta = 0$)	9,5
Nem túlnyúló homloklemez, egyoldali, az oszlop felső végén fedőlemez ($\beta = 1$)	11,5
Nem túlnyúló homloklemez, kétoldali, az oszlop felső végén fedőlemez, szimmetrikus ($\beta = 0$)	6
Hegesztett kapcsolat, egyoldali, merevítetlen ($\beta = 1$)	11,5
Hegesztett kapcsolat, kétoldali, merevítetlen, szimmetrikus ($\beta = 1$)	6
Övbekötő szögacélos, egyoldali ($\beta = 1$)	70
Övbekötő szögacélos, kétoldali, szimmetrikus ($\beta = 1$)	65

Megjegyzés: Abban a ritka esetben, ha a kétoldali kapcsolatban $\beta = 2$ (kiegyenlített nyomatók esetére), a C tényezőt úgy kell felvenni, hogy a táblázatban a szimmetrikus esetre (a kiegyenlített nyomatók esetére) megadott értéket 11-gyel megnöveljük.

Egyszerű kapcsolatok



Komponens módszer: kezdeti merevség hegesztett kapcsolatra

A KOMPONENSMÓDSZER	
Három lépés	
Első lépés: Az alkotóelemek kiválasztása	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div> <p>Asz oszlop nyírógerinclemeze</p> </div> <div> <p>Asz oszlop nyomógerinclemeze</p> </div> <div> <p>Asz oszlop húzógerinclemeze</p> </div> </div>
Második lépés: Az alkotóelemek vizsgálata	<p>Az egyes alkotóelemek k_i merevségi tényezője Az egyes alkotóelemek F_{u,i} ellenállása</p>
Harmadik lépés: Az összehívás	<p>A kapcsolat merevsége: $S_{j,ini} = E \cdot z^2 / \Sigma k_i$ A kapcsolat ellenállása: $M_u = \min(F_{u,i}) \cdot z$</p>

Merevítetlen hegesztett kapcsolat rugómodellje

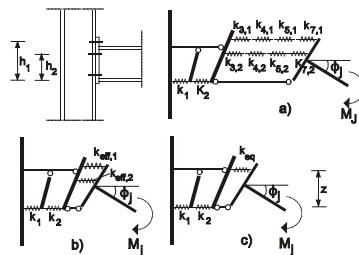
$$F_i = k_i E \Delta_i$$

$$\phi_j = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_4}{z}$$

$$S_{j,ini} = \frac{M}{\phi_j} = \frac{F z}{\sum \Delta_i} = \frac{F z^2}{E \sum \frac{1}{k_i}} = \frac{E z^2}{\sum \frac{1}{k_i}}$$

Homloklemezkes kapcsolat

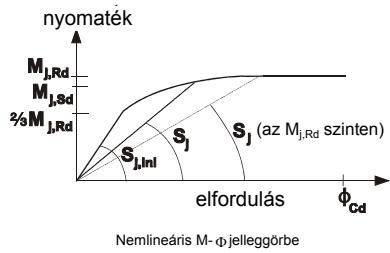
Egynél több húzott csavarral rendelkező homloklemezkes oszlop-gerenda kapcsolatok rugómodellje



$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_{i,r}}}$$

$$z_{equ} = \frac{\sum k_{eff,r} h_r^2}{\sum k_{eff,r} h_r}$$

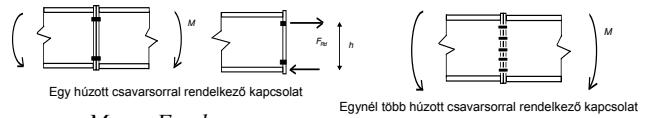
$$k_{equ} = \frac{\sum h_{eff,r} h_r}{z}$$



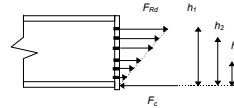
$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\left(\frac{1,5M_{j,Sd}}{M_{j,Rd}}\right)^\psi}$$

$\psi = 2,7$ homloklemézes és hengerelt kapcsolatok esetén,
 $\psi = 3,1$ övbekötött szögacékos kapcsolatokra.

A kapcsolat ellenállásának meghatározása

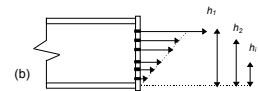
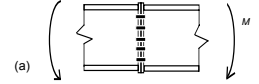


$$M_{Rd} = F_{Rd} \cdot h$$

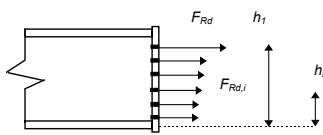


Vastag homloklemézzel kialakított kapcsolat

$$M_{Rd} = \frac{F_{Rd}}{h_1} \sum h_i^2$$



Vékony homloklemézzel kialakított kapcsolat.
 (a) Elrendezés;
 (b) A belső erők megoszlása a terhelés kezdetén



A belső erők képlékeny megoszlása

(i) „teljes átrendeződés”

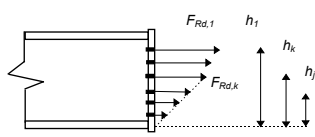
$$M_{Rd} = \sum F_{Rd,i} \cdot h_i$$

$$F_{Rd,i} \leq 1,9B_t \cdot R_{d,Rd}$$

(ii) A képlékeny átrendeződés megszakad, mert

$$F_{Rd,k} > 1,9B_t \cdot R_{d,Rd}$$

$$M_{Rd} = \sum_{i=1,k} F_{Rd,i} \cdot h_i + \frac{F_{Rd,k}}{h_k} \sum_{j=k+1,n} h_j^2$$

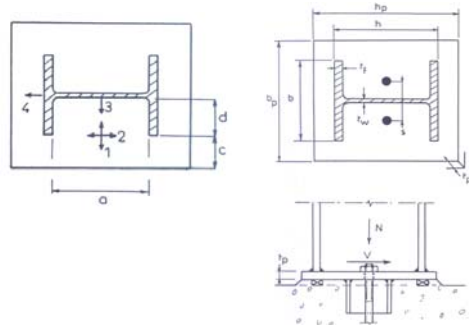


A belső erők rugalmas-képlékeny megoszlása

(iii) Az F_c nyomóerő eléri a gerenda nyomott öv- és gerinclemézének tervezési ellenállását

Osztótalp méretezése:

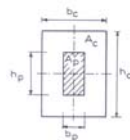
- 1. módszer:**
- A teljes osztótalp felület terhel
 - A max. érintkezési feszültség kétszerese az átlagnak
 - Az osztótalp fixen rögzített az oszlophoz. Négy kritikus pont vizsgálandó
 - Részleges folyás megengedett: $1,19 \cdot f_y$



- 2. módszer:**
- Az érintkezési felület kisebb mint az osztótalp
 - A betonnyomás állandó az érintkezési felületen
 - Az érintkező felületekhez tartozó talplemezt mint konzolt vizsgáljuk
 - A max. hajlítási feszültség a folyási feszültség lehet

$$x = (f_{yp} / 3 f_j)^{1/2}$$

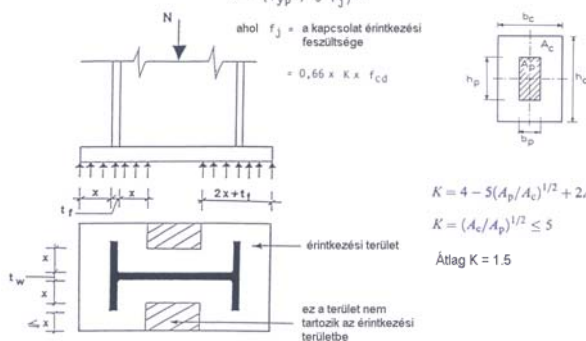
ahol f_j = a kapcsolat érintkezési feszültsége
 $= 0,66 \times K \times f_{cd}$



$$K = 4 - 5(A_p/A_c)^{1/2} + 2A_p/A_c$$

$$K = (A_c/A_p)^{1/2} \leq 5$$

Átlag $K = 1,5$



szerződésmű projekt támogatásával

Nyomatékbíró osztótalp:

(A) Rugalmas analízis:

N - normálerő

M - nyomaték

A_p - a teljes nominális km a lehorganyzó csavaroknak

F_s - a teljes húzóerő a lehorganyzó csavarokban

E_s, E_c - rugalmassági modulusok (acél, beton)

$$\eta = \frac{E_s}{E_c}$$

ϵ_s, ϵ_c - max. nyúlás a csavarokban és a betonban

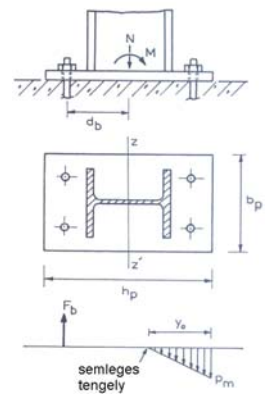
$$\frac{\epsilon_b}{d_b + h_p/2 - y_o} = \frac{\epsilon_c}{y_o} \quad (\text{sik km sik marad})$$

$$\frac{F_b}{A_b} = E_s \epsilon_s \quad (\text{csavarok rugalmas viselkedése})$$

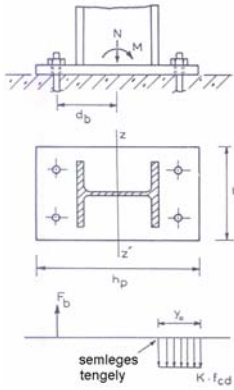
$$p_m = E_c \epsilon_c \quad (\text{beton rugalmas viselkedése})$$

$$N = \left[\frac{1}{2} p_m y_o b_p - F_b \right] \quad (\text{normálerő egységű})$$

$$M = \left[\frac{1}{2} p_m y_o b_p (h_p/2 - y_o/3) + F_b d_b \right] \quad (\text{nyomaték egységű})$$



Képlékeny analízis:



$$N = [(Kf_{ed} y_o b_p) - F_b] \text{ (normálterő egysége)}$$

$$M = [[(Kf_{ed} y_o b_p (h_p/2 - y_o/2)) + F_b d_b] \text{ (nyomaték egysége)}$$

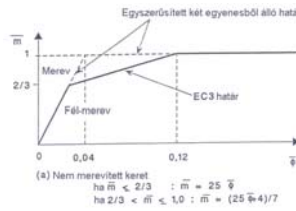
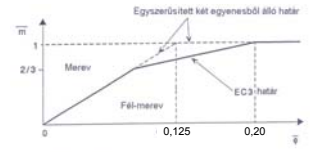
$$y_o = \left[\frac{h_p}{2} + d_b - \left(\left(\frac{h_p}{2} + d_b \right)^2 - \frac{2(M + Nd_b)}{Kf_{ed} b_p} \right)^{0.5} \right]$$

$$p_m = Kf_{ed}$$

$$F_b = [(Kf_{ed} y_o b_p) - N]$$

$$0 \leq (M + Nd_b) \leq [0.5 Kf_{ed} b_p (h_p/2 + d_b)^2]$$

Merevség korlátai

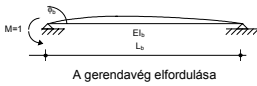


(b) Merevített keret
 ha \$\bar{m} < 2/3\$: \$m = 8 \bar{\varphi}\$
 ha \$2/3 < \bar{m} < 1,0\$: \$\bar{m} = (20 \bar{\varphi} - 3)/7\$

$$\bar{m} = \frac{M}{M_{g,Ed}} \quad \bar{\varphi} = \frac{E I_b}{L_b M_{g,Ed}}$$

(a) Nem merevített keret
 ha \$\bar{m} < 2/3\$: \$\bar{m} = 25 \bar{\varphi}\$
 ha \$2/3 < \bar{m} < 1,0\$: \$\bar{m} = (25 \bar{\varphi} + 4)/7\$

A befogási tényező alkalmazása



Egységnyi nyomaték hatására a gerenda végének elfordulása: $\varphi_b = \frac{L_b}{3EI_b}$

Ugyanezen nyomaték hatására a gerendavég és a kapcsolat együttes elfordulása: $\varphi_r = \frac{L_b}{3EI_b} + \frac{1}{S_j}$

amelyből a befogási tényező: $f = \frac{\varphi_b}{\varphi_r} = \frac{1}{1 + 1,5\alpha}$ ahol E, L_b, I_b és S_j $\alpha = \frac{2EI_b}{L_b S_j}$

Ideálisan csuklós kapcsolatokra $f = 0$, ideálisan befogott kapcsolatokra pedig $f = 1$. A megoldás keresésének iterációs folyamata felgyorsítható, ha a tervező felvesz egy 0 és 1 közötti befogási tényezőt, és azzal kezdi az analízist. Kiindulási értéként merevített keretekre $0,1 \leq f \leq 0,6$, merevítetlen keretekre pedig $0,7 \leq f \leq 0,9$ befogási tényező felvétele javasolt. Ha merevített keret esetén $f = 0,5$ értékből indulunk ki, akkor a keret analízise során $3EI_b / L_b$ kapcsolati merevséget kell feltételezni. Megjegyezzük, hogy

$$S_j = \frac{3EI_b}{L_b} \cdot \frac{f}{1-f}$$

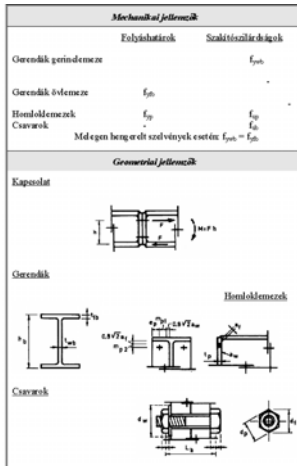
Ha merevítetlen keret esetén $f = 0,8$ értékből indulunk ki, akkor a megfelelő kapcsolati merevség $12EI_b / L_b$.

A társított kezdeti merevség korlátai (adati befogási tényezők esetére)

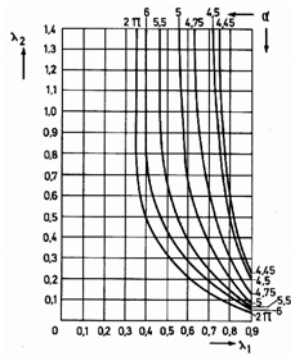
Keret	Alsó határ	Felső határ
Merevített ($f = 0,5$) $S_{j,app} = \frac{3EI_b}{L_b}$	$S_{j,min} \geq \frac{24EI_b}{13L_b}$	$S_{j,max} \leq \frac{6EI_b}{L_b}$
Merevítetlen ($f = 0,8$) $S_{j,app} = \frac{12EI_b}{L_b}$	$S_{j,min} \geq \frac{48EI_b}{7L_b}$	$S_{j,max} \leq \frac{30EI_b}{L_b}$

ahol:
 $S_{j,app}$ a kapcsolat közelítő merevsége (a kezdeti merevség előzetesen becsült értéke);
 $S_{j,min}$ a kapcsolat tényleges kezdeti merevsége
 E a rugalmassági modulus
 L_b a gerenda hossza
 I_b a gerenda keresztmetszetének tehetőségi nyomatéka

Mintapélda

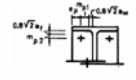


	Merevség	Ellenőrzés
Gerendák nyomaték ellenőrzése	$k_1 = \infty$	$F_{M,Ed} \leq M_{Rd} / (\eta \gamma_{Ed})$ M_{Rd} a gerendaszívny tervezési nyomaték ellenőrzése
Húzott csavarok	$k_2 = 1,5 \frac{A_s}{L_b}$	$F_{M,Ed} \leq 2 D_{M,Ed}$ ahol $D_{M,Ed} = F_{M,Ed}$ $F_{M,Ed} = 0,9 f_{yk} A_s$ $D_{M,Ed} = \frac{2 D_{M,Ed}}{\gamma_{M,Ed}}$
Hajlított homlok-lemezek	$k_3 = \frac{0,85 f_{yk} I_b^2}{2 m_{p,1}^2}$	$F_{M,Ed} \leq \min [F_{M,Ed} / F_{M,Rd}]$ $F_{M,Rd} = \frac{0,9 \eta_1 2 e_{p,1} I_{p,1} m_{p,1}}{2 m_{p,1} \eta_1 e_{p,1} (m_{p,1}^2 \eta_1)}$ $F_{M,Ed} = \frac{2 I_{p,1} m_{p,1} + 2 D_{M,Ed} \eta_1}{m_{p,1} + \eta_1}$ $\eta_1 = \min [e_{p,1} / 1,25 m_{p,1}]$ $m_{p,1} = 0,25 f_{yk} I_b / \gamma_{M,Ed}$ $e_{p,1} = d_p / 4$ $I_{p,1} = \min [2 m_{p,1} ; \alpha m_{p,1}]$ ahol az α paramétert a mellékelt ábrákból kell kiolvasni
Gerendák húzott gerinc-lemeze	$k_4 = \infty$	$F_{M,Ed} \leq D_{M,Ed} \eta_1 f_{yk} / \gamma_{M,Ed}$ $D_{M,Ed} = I_{p,1}$
KAPCSOLAT	Kezdeti merevség: $S_{j,m} = E I_b^2 / \sum_{i=1}^n I_i^2$ Néves merevség: $S_j = S_{j,m} / 3$	$F_{M,Ed} \leq \min [F_{M,Ed}]$ Képlékeny tervezési nyomatéki ellenőrzés: $M_{Rd} = F_{M,Ed}$ Rugalmas tervezési nyomatéki ellenőrzés: $\frac{2}{3} M_{M,Ed}$



$$\lambda_1 = \frac{m_d}{m_d + e_d}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_d}{m_d + e_d}$$



© 2010 a hajlékony falú elemek tervezési előírásának a 6. gloszár részében

STB	Cserendőz	8. 8-as cserendőz		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények									
		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények									
		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények		Működési körülmények									
STB20	800	15	140	200	50	120	30	90	25	7	5	1503	534	24.1	16.1	157	157	10-K	2
STB40	800	15	140	220	30	140	30	90	25	4	2	2030	699	27.2	18.1	157	157	10-K	2
STB60	800	15	138	230	35	160	35	90	32	4	2	2055	762	32.8	21.0	157	157	10-K	2
STB80	800	20	154	254	35	160	35	90	32	4	6	4282	1427	33.0	25.9	245	157	K	7.1-K
STB100	800	15	130	248	35	160	35	90	40	4	6	3694	1289	38.9	25.9	157	157	10-K	125-K

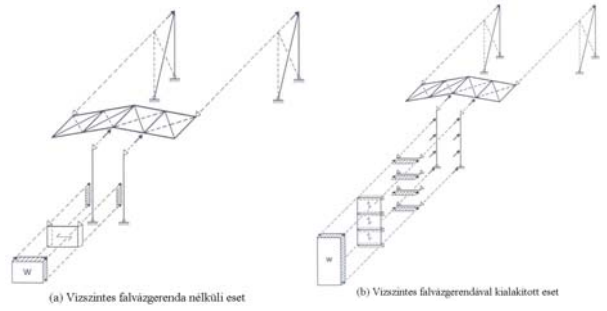
6. Előadás

Merevítő rendszerek

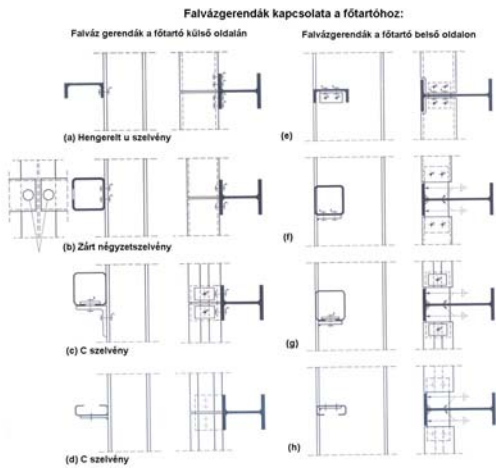
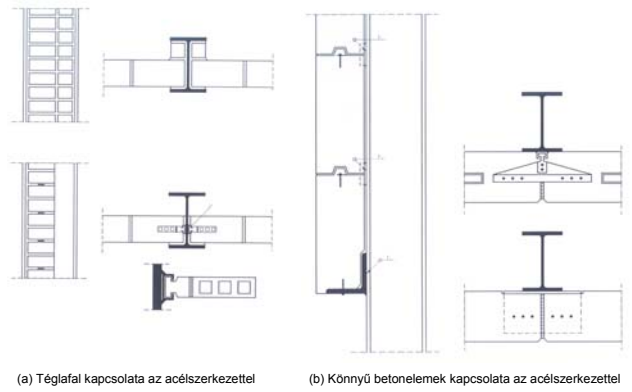
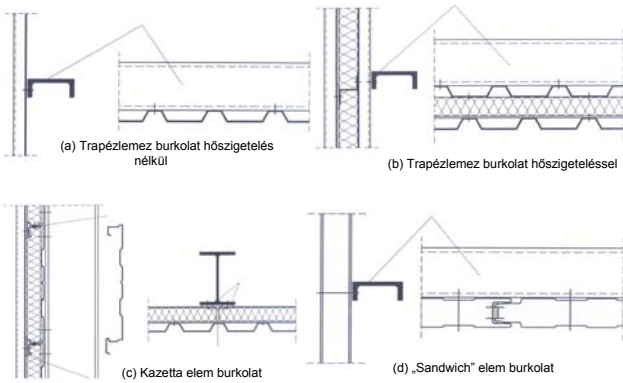
- típusok, szerepük a tervezésben
- szerkezeti kialakítások
- terhek és hatások
- gyártás és szerelés

Merevítő rendszerek és terhelésük

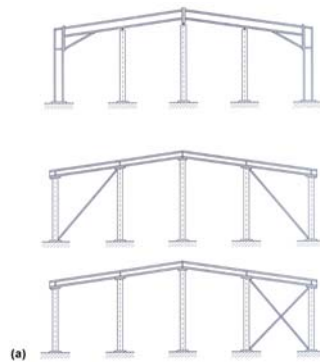
Szélrács és hosszmerítés



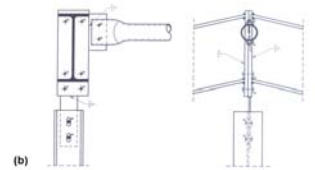
Oldalfal burkolatok:

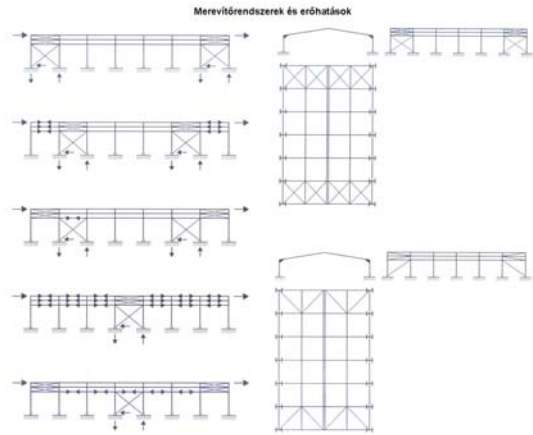
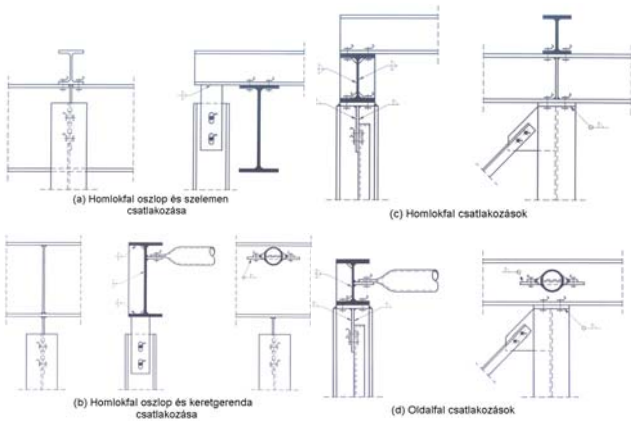


Homlokfal szerkezeti kialakítása:

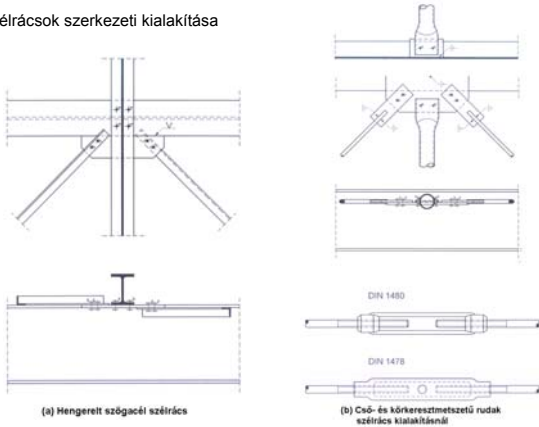


Homlokfal oszlop és keret tarájpont csatlakozása:

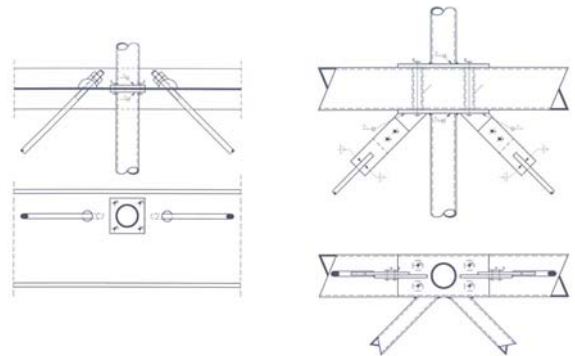




Szélrácsok szerkezeti kialakítása



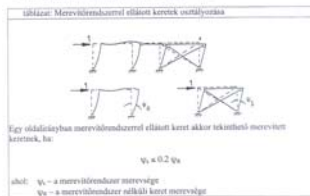
Szélrácsok szerkezeti kialakításai: Cső- és kör keresztmetszetű rudak szélrács kialakításánál



Szerkezeti rendszerek

Keretstruktúrák

- (1) Keretstruktúrákat analízishez a kereti imperfekciók figyelembevételével.
- (2) Egy acélkeret akkor minősül merevítettnek, ha a merevítendő az a keret vízszintes mozgásai legalább 80%-kal csökken.



Keretek osztályozása

Leírás: Keret osztályozása	Leírás: Keret osztályozása
	$\Delta 2V \leq 0,1$ $k \geq 1$ $h =$ oszlop magassága H - teljes vízszintes reakcióerő ($H_1 + H_2$) $2V$ - teljes függőleges reakcióerő ($V_1 + V_2$)
<p>Nem kiinduló keretek esetén</p>	<p>Δ - a szél terjedék vízszintes elmozdulása a szél ajtóhoz képest az előforduló elmozdulás alapján számolva</p>

Az imperfekciók számításba vétele

- (1) A gyakorlatban ténylegesen meglévő alakhibák – beleértve olyan geometriai hibákat, mint a függőlegestől való eltérés, a görbesség, illeszkedési hibák és más elkerülhetetlen kisebb különbségek – és a sajátfeszültségek hatását megfelelő helyettesítő imperfekciók segítségével kell figyelembe venni.

- (2) A keret vizsgálata során az imperfekciók hatása egy egyenértékű, kezdeti kilengés jellegű geometriai hibával veendő számításba. Ennek értéke:

$$\Theta = k_e k_s \Theta_0$$

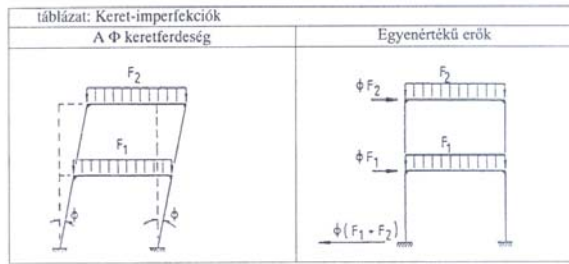
$$\text{ahol } \Theta_0 = \frac{1}{200}$$

$$k_e = \left(0,5 + \frac{1}{n_e}\right)^{1/2}, \text{ de } k_e \leq 1,0$$

$$k_s = \left(0,2 + \frac{1}{n_s}\right)^{1/2}, \text{ de } k_s \leq 1,0$$

ahol n_e az egy síkban levő oszlopok száma
 n_s a szintek száma.

A kezdeti imperfekciók hatása ekvivalens vízszintes erőkkel is figyelembe vehető:



(3) Az előző pontban leírt kezdeti kilengési alakhibák minden vízszintes irányra vonatkoznak, de egyszerre csak egy irányban veendők figyelembe.

táblázat: A Φ keretferdeség kezdeti értékei						
Φ = k _c k _c φ ₀ φ ₀ = 1/200	Egy síkban lévő oszlopok száma	n _c = 2	n _c = 3	n _c = 4	n _c = 5	
		Szintszám				
k _c = √(0.5 + 1/n _c) ≤ 1.0	n _c = 1		1/200	1/220	1/230	1/240
	n _c = 2		1/240	1/260	1/275	1/285
k _s = √(0.2 + 1/n _s) ≤ 1.0	n _s = 3		1/275	1/300	1/315	1/325
	n _s = 4		1/300	1/325	1/345	1/355

(4) Az n_c tényező számítása során el kell hagyni azon oszlopokat, amelyek az adott síkban az egy oszlopra számítható átlagos nyomóerő 50%-nál kisebb függőleges terhet hordanak.

(5) Az n_s tényező számítása során el kell hagyni azon oszlopokat, amelyek nem nyúlnak át mindazon szinteken, melyek n_s-ben figyelembe lettek véve. Az n_s számításánál el kell hagyni azon földszinteket és tetőszinteket, amelyek nem kapcsolódnak az n_s számításakor figyelembe vett valamennyi oszlophoz.

Kilengő keretek rugalmas számítása

(1) Ha rugalmas globális vizsgálatot végzünk, a kilengés okozta másodrendű hatásokat akár direkt módon – másodrendű rugalmas számítással –, akár indirekt módon – a következő alternatívák valamelyikével – figyelembe kell venni:

- (a) elsőrendű rugalmas vizsgálat, megnövelt kilengési nyomatékokkal,
- (b) elsőrendű rugalmas vizsgálat, kilengő alakhoz tartozó kihajlási hosszakkal.

(2) A megnövelt kilengési nyomatékok módszere során az elsőrendű rugalmas elmélettel megállapított kilengési nyomatékokat a következő tényezővel kell megnövelni:

$$\frac{1}{1 - \frac{V_{sd}}{V_{cr}}}$$

ahol: $\frac{V_{sd}}{V_{cr}}$ a teljes függőleges teher tervezési értéke annak a kilengő tönkremeneteli módhoz tartozó kritikus értéke.

A V_{sd}/V_{cr} arány közvetlen meghatározása helyett az oszlop – gerendás keretknél az alábbi közelítés alkalmazható:

$$\frac{V_{sd}}{V_{cr}} = \left(\frac{\delta}{h} \right) \left(\frac{V}{H} \right),$$

ahol δ, h, V, H a táblázatban van feltüntetve.

(3) A meglévő kilengési nyomatékok módszere nem használható akkor, ha

$$\frac{\delta \sum V}{h \sum H} > 0.25$$

(4) Ha a megnövelt kilengési nyomatékok módszerét használjuk, a keret síkjában a nem kilengő tönkremeneteli módhoz tartozó kihajlási hosszak használhatók az elemek tervezésekor.

Merevítőrendszerek

(1) A merevítőrendszert a következő terhek felvételére kell megtervezni:

- az általa megtámasztott keretekre működő bármely vízszintes erő,
- minden, a merevítőrendszerre közvetlenül működő vízszintes vagy függőleges teher,
- mindazon kezdeti alakhibák (vagy az egyenértékű vízszintes terhek), amelyek magára a merevítőrendszerre és a merevített keretekre vonatkoznak.

A merevítőrendszer vizsgálatához szükséges alakhibák

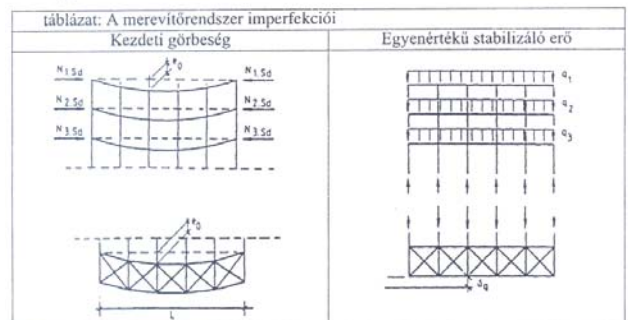
(1) A merevítőrendszer (amelytől a gerendák vagy nyomott elemek hossza mentén a keretsíkból való kitéréssel szembeni stabilitás biztosítását várjuk el) vizsgálatába olyan alakhibák beépítése szükséges, amelyek a megtámasztandó elemek egyenértékű geometriai hibáinak segítségével, egy kezdeti görbeség formájában kezelhetők:

$$e_x = k \cdot \frac{L}{500}$$

ahol L a merevítőrendszer fesztávolsága és

$$k_s = \left(0.2 + \frac{1}{n_s} \right)^{1/2}, \text{ de } k_s \leq 1.0$$

amelyben n_s a megtámasztandó elemek száma. Használható egyenértékű teher vizsgálati során is.



(2) A Σq egyenértékű stabilizáló erő numerikus értékei az alábbi táblázatban szerepelnek.

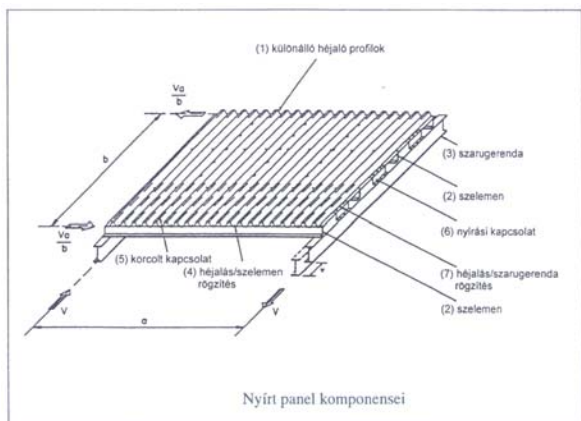
5.8 táblázat: A Σq egyenértékű stabilizáló erő értékei

$e_0 = \frac{k_1 L}{500}$ $k_1 = \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_1}}$ $n_1 - a$ merevítendő szerkezeti elemek száma $\Sigma q = \frac{\Sigma N_{sd}}{62.5 L} \cdot [k_1 + \alpha]$ $\alpha = \frac{500 e_0}{L}$	δ_q	n_1					
		$n_1 = 1$	$n_1 = 2$	$n_1 = 3$	$n_1 = 4$	$n_1 = 5$	$n_1 = \infty$
$\leq \frac{L}{2500}$	$\leq N_{sd}$	$\leq \Sigma N_{sd}$	$\leq \Sigma N_{sd}$	$\leq \Sigma N_{sd}$	$\leq \Sigma N_{sd}$	$\leq \Sigma N_{sd}$	$\leq \Sigma N_{sd}$
$\leq \frac{L}{2000}$	52.1 L	60.3 L	67.2 L	71.8 L	75.1 L	96.6 L	
$\leq \frac{L}{1500}$	50.0 L	57.5 L	63.8 L	67.9 L	70.8 L	89.6 L	
$\leq \frac{L}{1000}$	46.9 L	53.4 L	58.8 L	62.2 L	64.7 L	80.0 L	
	41.7 L	46.8 L	50.8 L	53.4 L	55.2 L	68.0 L	
Az egységek száma	2	3	4	5	6	7	
$N_{sd} = \frac{M}{h}$	1.0	9/8	1.0	25/24	1.0	49/48	

δ_q – a merevítérendszer Σq -ból és a külső terhekből számított síkbeli elmozdulása



Dupla nyeregtető esetén a függőleges és a vízszintes erőket is fel lehet venni.

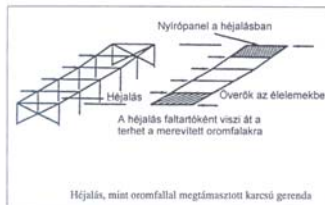


Trapézlemezekből kialakított tárcsák a tetősíkokban

Tető tervezése, a héjalás diafragma hatásának figyelembe vételével.

A héjalás diafragmaként történő figyelembevételének lehetősége

Téglalap alakú acélszerkezetű épület esetén keresztirányú vízszintes teherrel, a héjalást diafragmaként kezelhetjük. A héjalás ez esetben úgy viselkedik, mint egy gerenda egy nagyon karcsú gerennel, és amelynek támasza a két oromfal. A tető szélső elemei gerendaelemekként fognak viselkedni és felveszik a tető hajlítást

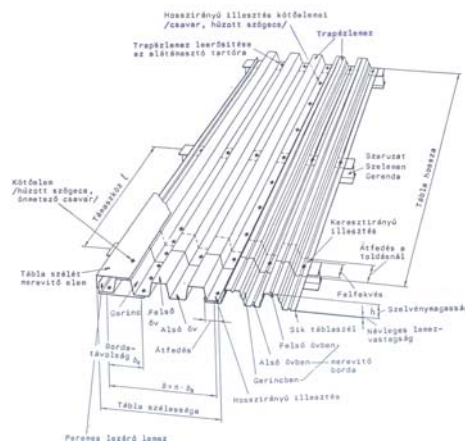


A diafragma alapvető eleme a nyírt panel

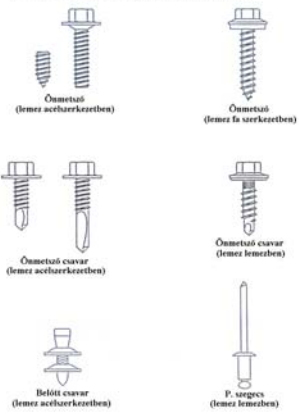
A nyírt panel komponensei:

- (1) különálló acél héjaló profilk összekötve;
- (2) a héjalás irányára merőleges szelemek;
- (3) a héjalás irányával párhuzamos gerendák;
- (4) szelemen/héjalás rögzítő elemek;
- (5) a héjalás különálló paneljei közötti illesztés;
- (6) nyírási kötőelemek, amelyek a héjalás és a szaruk közötti kapcsolatot biztosítják;
- (7) héjalás/nyírás rögzítő elemek;
- (8) szelemen/szaru kapcsolat.

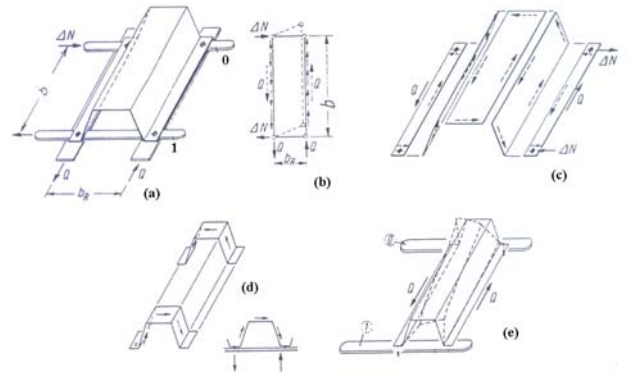
Ha a tető diafragma hatását elhanyagoljuk, a számítás nem reális eredményeket is adhat. Továbbá ez a héjalás túlerheltségét is eredményezheti, mivel a nyírási merevséget nem vesszük figyelembe.



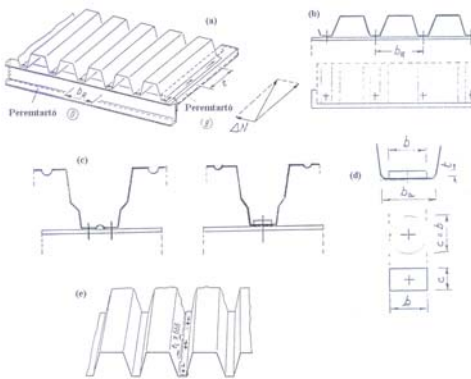
Nem szokványos csavarok vékonyfalú szerkezeti elemekben



A trapézlemez erőjátéka: lemezű analógia

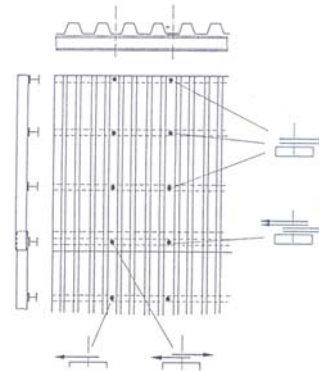


(a) Leeresítés a tárcsa övére



(a) Leeresítés a szélső perentartókra

(b) A trapézlemez táblák hosszirányú toldása

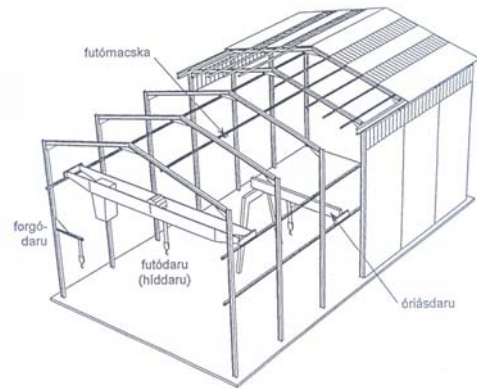


7. Előadás

Darupályák tervezésének alapjai

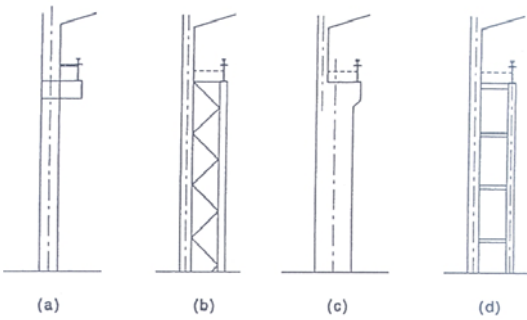
- szerkezeti kialakítások
- méretezési alapelvek
- fáradásvizsgálat
- gyártás és szerelés

Különböző típusú daruk keretstruktúrájú csarnokban



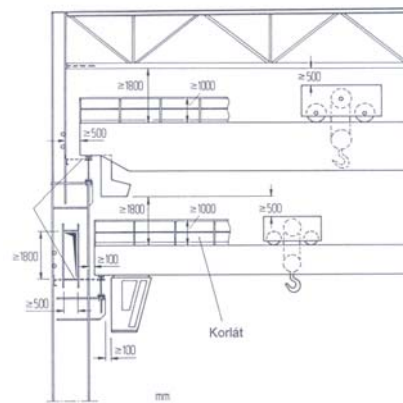
Különböző típusú daruk keretstruktúrájú csarnokban

A darupályatartó és a szerkezet

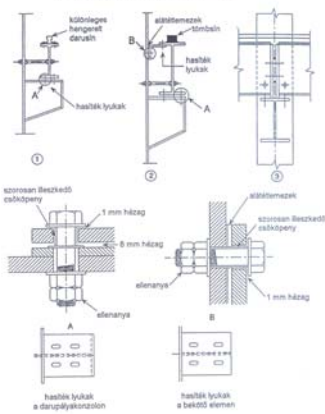


Darupályát alátámasztó oszlopok (a) viszonylag könnyű darukhoz; (b)–(d) nehéz darukhoz

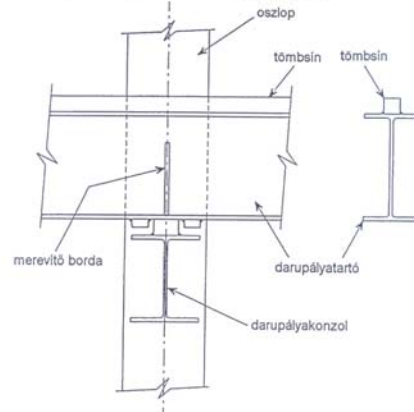
Geometria méretek darupálya és a főtartó szerkezet viszonyában



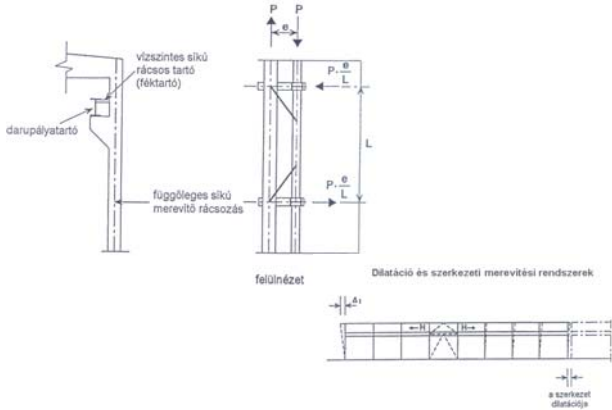
Kétféle darupályatartó megvalósítása



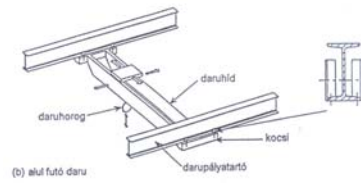
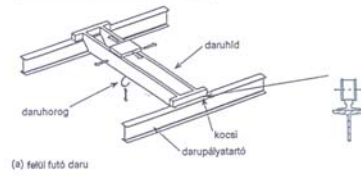
Folytatódó többtámaszú darupályatartó rugalmas megtámasztása darupályakonzolon



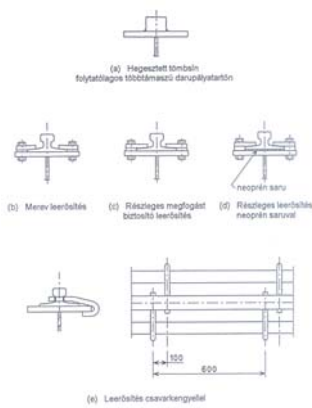
Az oszlop csavarását megakadályozó, vízszintes síkú rácsos tartó



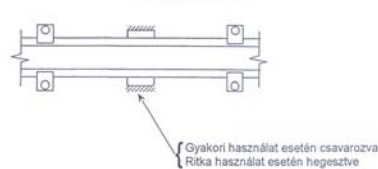
Daruféleségek és daruosztályok



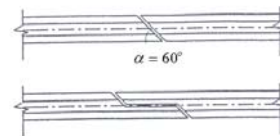
A darusín leeresztése



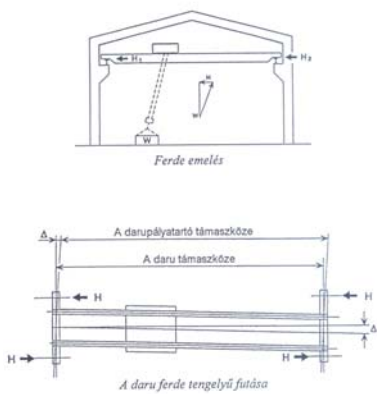
"Kormányzóelemek"



Ferde és lépcsős darusínillesztés

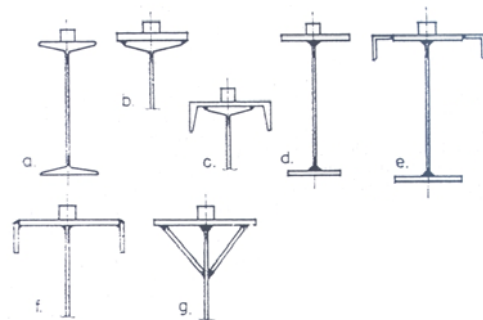


A darupályatartó terhei:

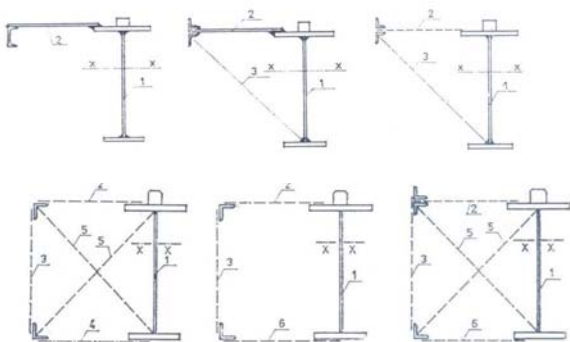


A darupályatartó megválasztása

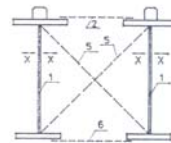
Nyitott keresztmetszetű darupályák



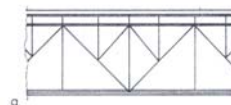
Oldalirányban kitámasztott darupályák



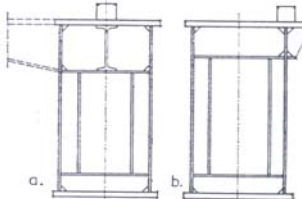
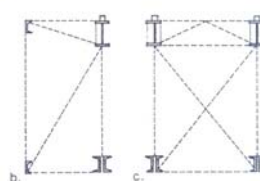
Ker kerék alátámasztása



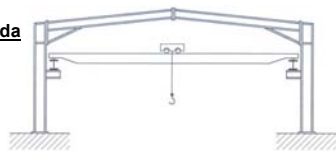
Rácsos darupályák



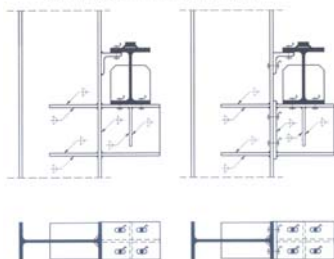
Zárt keresztmetszetű darupályák



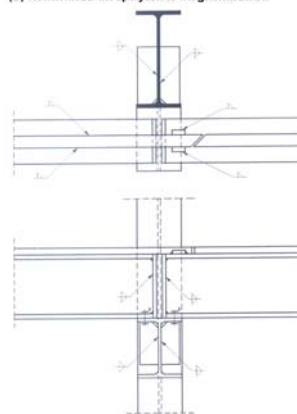
Szerkezeti példa



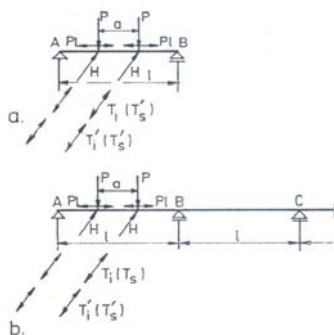
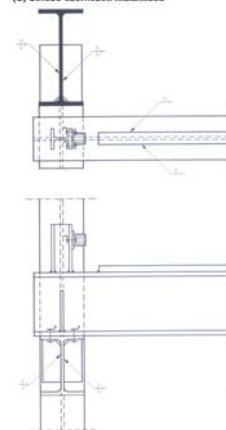
(A) Darupályatartó konzol kialakítása



(B) Kéttámaszú darupályatartó megtámasztása



(C) Ütköző szerkezeti kialakítása



Rácsos tartó statikai "átalakítása" lemezzé:

Rácsos vagy keretként kialakított keresztmetszeti tartományok:

$$t_E = \frac{E}{6} \frac{ab}{\frac{d^3}{A_0} + \frac{b^3}{3} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

$$t_E = \frac{E}{6} \frac{ab}{\frac{d^3}{A_0} + \frac{a^3}{A_V} + \frac{b^3}{12} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

$$t_E = \frac{E}{6} \frac{ab}{\frac{d^3}{2A_0} + \frac{b^3}{12} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

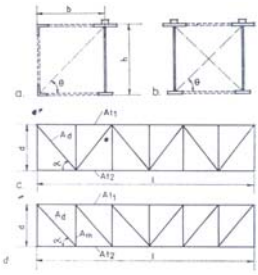
$$t_E = \frac{E}{6} \frac{ab}{\frac{2d^3}{A_0} + \frac{a^3}{4A_V} + \frac{b^3}{12} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

$$t_E = \frac{E}{6} \frac{1}{\frac{b^2}{12aI_y} + \frac{a^2}{24I_g}}$$

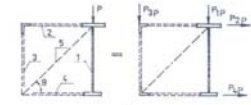
t_E helyettesítő vastagságnál
 ideális lemez számítása
 A_0 : D ferdé rácsrúd keresztmetszeti területe
 A_V : V függőleges rácsrúd keresztmetszeti területe
 A_{G1} : G_1 , ill. G_2 övrúd keresztmetszeti területe
 [Hoyer, Hohaus, 1974]

Készült az ERFP-DD2002-HU-B-01 szerződéses számú projekt támogatásával

Terhek eloszlása térbeli szerkezet síkbeli elemein



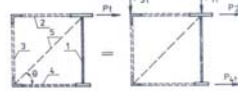
$$P_{1P} = \gamma_{11} P; \quad P_{2P} = \gamma_{21} P; \quad P_{3P} = \gamma_{31} P; \quad P_{4P} = \gamma_{41} P;$$



$$\gamma_{11} = \frac{I_1}{I_2} + \left(\frac{I_1 + I_2}{I_2} \right) \left(\frac{b}{h} \right)^2 + 1$$

$$\gamma_{11} = 1 - \gamma_{21}; \quad \gamma_{21} = \gamma_{21} \frac{b}{h}; \quad \gamma_{31} = -\gamma_{21};$$

$$P_{1P} = \gamma_{12} P; \quad P_{2P} = \gamma_{22} P; \quad P_{3P} = \gamma_{32} P; \quad P_{4P} = \gamma_{42} P;$$



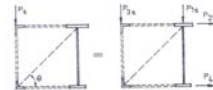
$$\gamma_{21} = \frac{1}{\frac{I_1}{I_2} + \left(\frac{I_1 + I_2}{I_2} \right) \left(\frac{b}{h} \right)^2 + 1}$$

$$\gamma_{21} = 1 - \gamma_{21}; \quad \gamma_{21} = \gamma_{21} \frac{b}{h}; \quad \gamma_{31} = -\gamma_{21};$$

$$P_{1P} = \gamma_{13} P; \quad P_{2P} = \gamma_{23} P; \quad P_{3P} = \gamma_{33} P; \quad P_{4P} = \gamma_{43} P;$$

$$\gamma_{31} = \frac{1}{\frac{I_2}{I_1} + \left(\frac{I_2 + I_1}{I_1} \right) \left(\frac{b}{h} \right)^2 + 1}$$

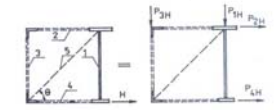
$$\gamma_{31} = 1 - \gamma_{31}; \quad \gamma_{31} = \gamma_{31} \frac{b}{h}; \quad \gamma_{41} = -\gamma_{31};$$



$$P_{1H} = \gamma_{1H} H; \quad P_{2H} = \gamma_{2H} H; \quad P_{3H} = \gamma_{3H} H; \quad P_{4H} = \gamma_{4H} H;$$

$$\gamma_{21} = \frac{1}{\frac{I_2}{I_1} + \left(\frac{I_2 + I_1}{I_1} \right) \left(\frac{b}{h} \right)^2 + 1}$$

$$\gamma_{21} = 1 - \gamma_{21}; \quad \gamma_{21} = \gamma_{21} \frac{b}{h}; \quad \gamma_{31} = -\gamma_{21};$$



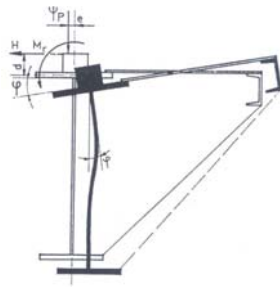
$$I = \frac{I_0}{1 + \gamma_1 (cEI_0/P^2)}$$

$$I_0 = [A_1 A_2 / (A_1 + A_2)] d^2$$

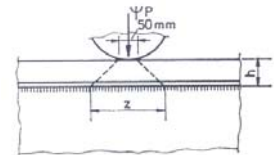
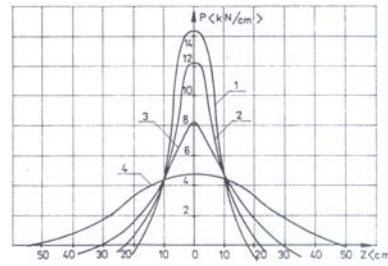
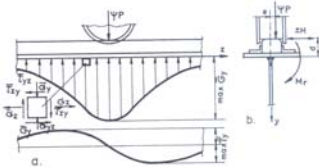
$$\gamma_1 = 1/E A_2 \sin^2 \alpha \cos \alpha$$

$$\gamma_1 = (1/E A_2 \sin^2 \alpha \cos \alpha) + (1/E A_0 \sin^2 \alpha)$$

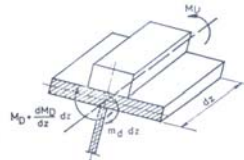
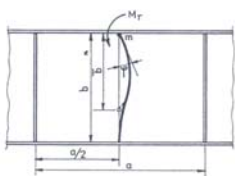
Helyi hatások



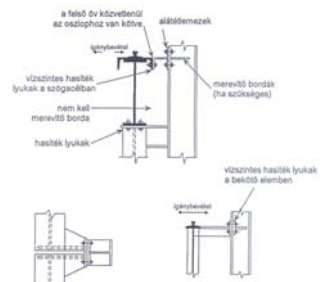
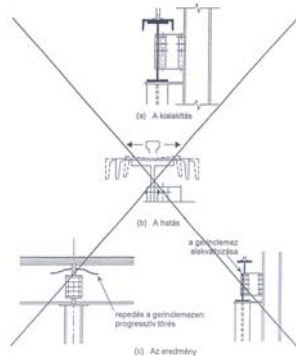
A darupálya övén működő koncentrált teher hatása



A felső öv csavarásának hatása



A darupályatartó és az oszlop kapcsolata



Kedvezőtlen szerkezeti megoldás az előállított diájról

Merevségi követelmények:

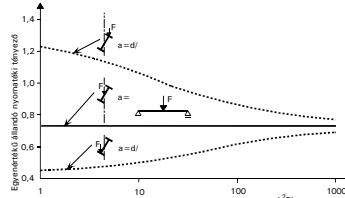
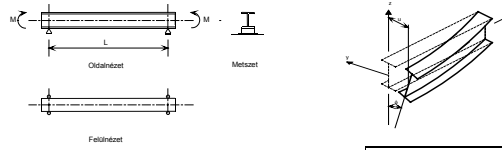
A nemkívánatos dinamikus hatások elkerülésére és a daru működésének biztosítására a darupályatartó legnagyobb alakváltozásait általában érdemes a következő értékekben korlátozni:

- A támaszköz középső keresztmetszetének lehajlása a legnagyobb keréknyomásból számítva, de növelő tényező nélkül: $L/700$
- A támaszköz középső keresztmetszetének vízszintes eltolódása a legnagyobb keréknyomásból számítva, növelő tényezővel: $L/600$

Ha nem készül részletesebb számítás, általában feltételezhető, hogy a teljes vízszintes erőt a felső öblemez viseli. A vízszintes eltolódásra vonatkozó merevségi követelmény a daru ferde tengelyű futásának megelőzése szempontjából lényeges.

A lehajlást szokás még 25 mm-ben korlátozni a daru működése következtében fellépő rezgések korlátozására.

Oldalirányú erők és a kifordulás

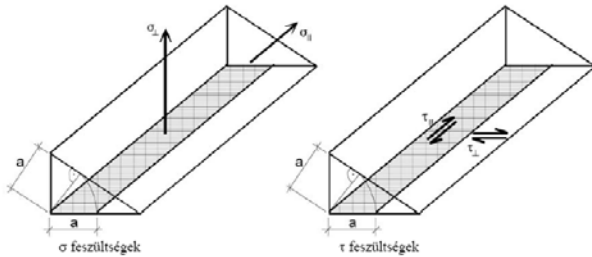


Tetek és reakciók	Normálalak ábra	M_{max}	C_1
		M	1,00
		M	1,879
		M	2,752
		$\frac{FL}{4}$	1,365
		$\frac{FL}{8}$	1,132

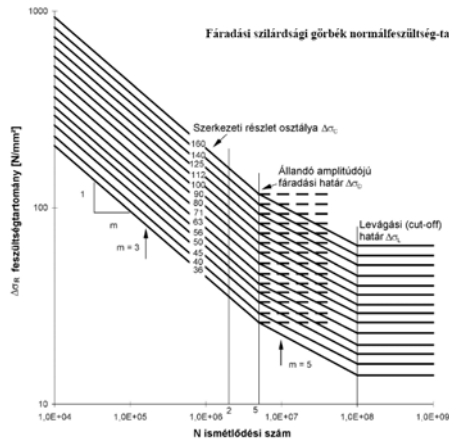
A fátadás

Feszültségek számítása hegesztési varratokhoz

- σ_w normál feszültségek a varrat hossz tengelyére merőlegesen: $\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2}$
- τ_w nyírófeszültségek a varrat hossz tengelyével párhuzamosan: $\tau_w = \tau_{\parallel}$



Fátadási szilárdsági görbék normál feszültség-tartományokhoz



Fátadási vizsgálat

Általános esetben a következő feltételeket kell teljesíteni:

$$\frac{\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{MF}} \leq 1,0 \quad \text{és} \quad \frac{\gamma_{FF} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{MF}} \leq 1,0$$

Összetett feszültség-tartományok, $\Delta\sigma_{E,2}$ és $\Delta\tau_{E,2}$ esetén a teljesítendő feltétel

$$\left(\frac{\gamma_{FF} \Delta\sigma_{E,2}}{\Delta\sigma_C / \gamma_{MF}} \right)^3 + \left(\frac{\gamma_{FF} \Delta\tau_{E,2}}{\Delta\tau_C / \gamma_{MF}} \right)^3 \leq 1,0$$

A fátadási besorolási táblázatok a következő oldalakon találhatók kivonatos formában, különböző szerkezeti részletek esetére.

Részlet osztálya	Szerkezeti részletek	Leírás	Követelmény
100		Hengeres és asztrolált termékek ☐ Lemezek és laposacél ☐ Hengeres szelelvények ☐ Varrat nélküli zárt szelelvények, négyzet vagy kör keresztmetszettel	☐ A1-☐-☐ Éles sarkok, a felület és hengervezési hibák közönséges javítások
80		☐ Egyoldalas, illesztőcsavaros kapcsolat. ☐ Egyoldalas, nem-előfeszített iparkészítési csavaros kapcsolat.	☐ - Az feszültségek a gyengített keresztmetszetre számolandók.

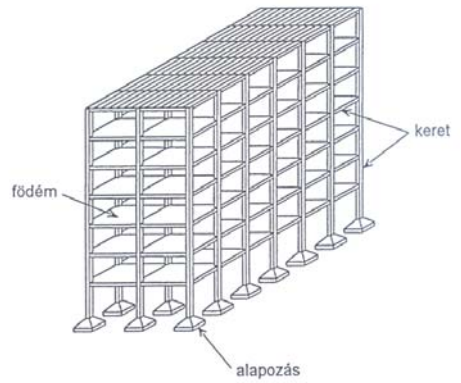
Részlet osztálya	Szerkezeti részletek	Leírás	Követelmény
71		☐ Folyamatos varratok végei illesztéshez történő kivágással. A kivágás mélysége 60 mm.	☐ - Az az öbön számított feszültségű számolandó. - Az illesztéshez történő vizsgálat nem szabad különleges vizsgálatokkal.
60		☐ Keresztirányú illesztések kerekzetek vagy laposacélok között. ☐ a) Hengeres szelelvények teljes keresztmetszettel kompozitára fordított nélkül. ☐ Keresztirányú illesztések szelvények vagy négyzet alakú változó keresztmetszettel kerekzetek és laposacélok között (a táblás 5.1.4.)	☐ a) és ☐ - A varratfelület kiemelkedése nem lehet nagyobb a varratfelület 10%-ánál, és emelje átmerület kell képezzen a lemezek között. ☐ és ☐ - A varratokat vízszintes helyzetben kell készíteni.

8. Előadás

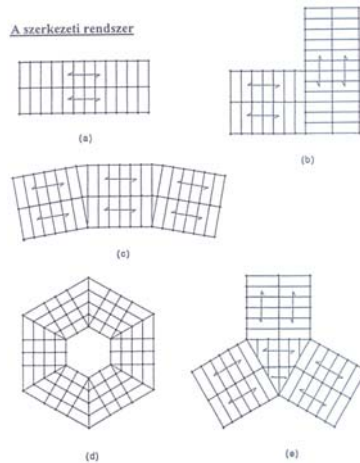
Többszintes acélvázás szerkezetek

- statikai rendszerek
- szerkezeti kialakítások
- acél- és öszvér szerkezetek

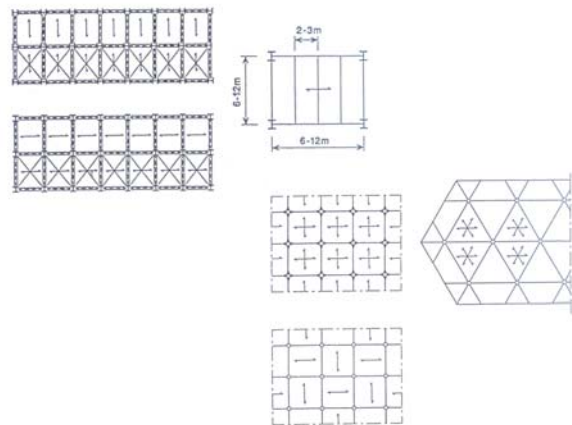
A többszintes épületek fő szerkezeti elemei



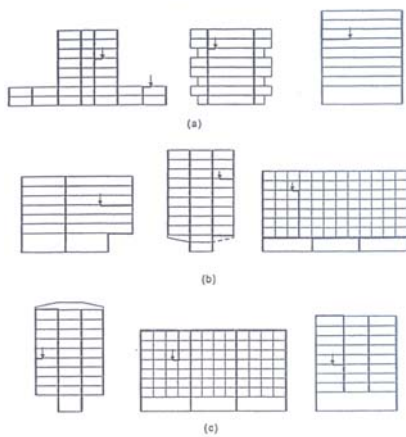
A szerkezeti rendszer



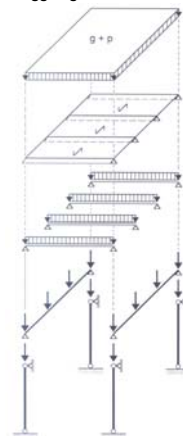
Különböző oszlopkiosztások



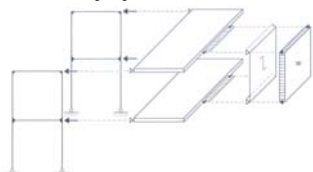
függőleges terhek



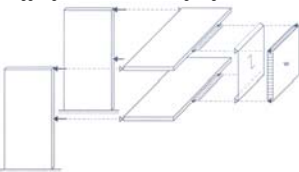
Függőleges terhek felvétele



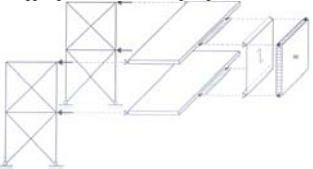
(A) Vízszintes terhek felvétele a födémek és függőleges siku keretek segítségével



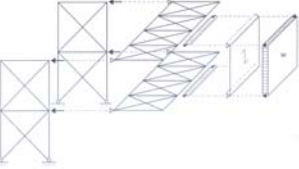
(B) Vízszintes terhek felvétele a födémek és függőleges siku merev falak segítségével



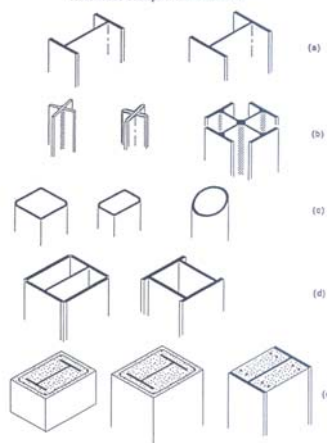
(C) Vízszintes terhek felvétele a födémek és függőleges siku merevítők segítségével



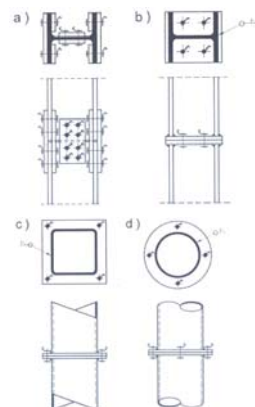
(D) Vízszintes terhek felvétele vízszintes és függőleges merevítők segítségével



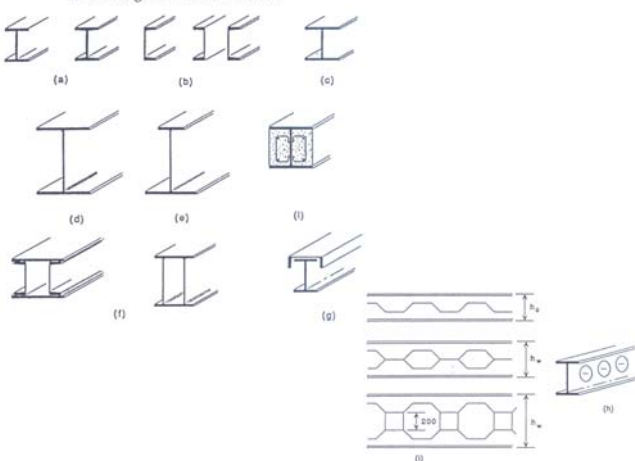
Különböző oszlopkeresztmetszetek



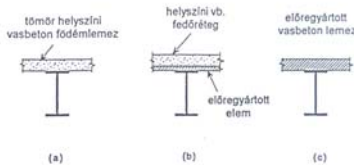
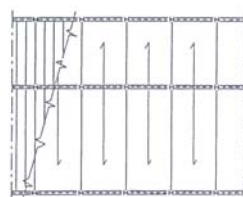
Oszlop keresztmetszetek illesztése



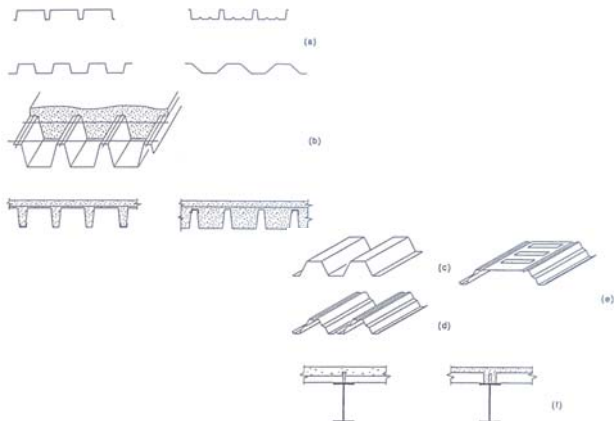
Különböző gerenda-keresztmetszetek



Födémek

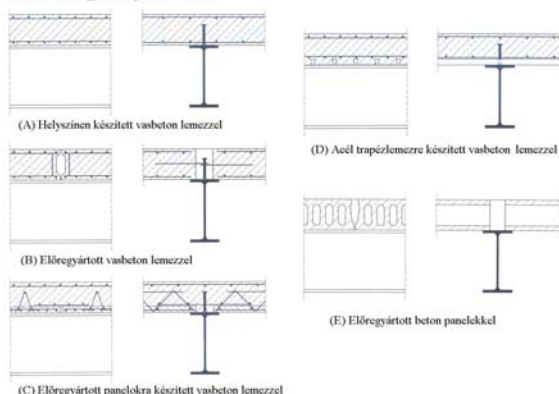


Vasbeton lemezes födémek

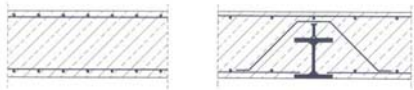


Acél profillemek

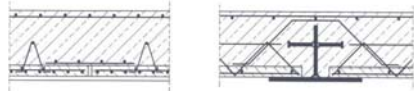
Teherhordó együtdolgozó födémek



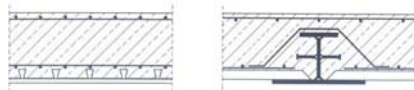
Födémek



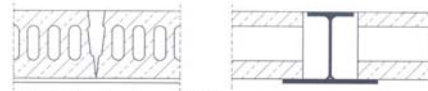
(A) Együttműködő födém rejtett hengerektől I szelvényrel



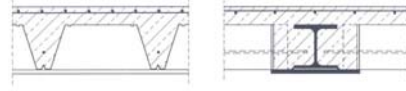
(B) Együttműködő födém rejtett hegesztett T szelvényrel és előregyártott panelel készített vasbeton lemezzel



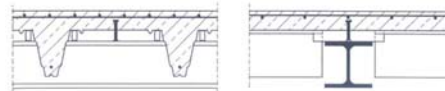
(C) Együttműködő födém rejtett hegesztett I szelvényrel és előregyártott panelel készített vasbeton lemezzel



(D) Födém előregyártott beton panelokkal



(E) Együttműködő födém acél trapézlemezre készített vasbeton lemezzel

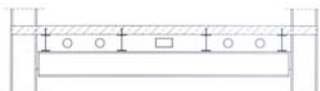


(F) Részlegesen együttműködő födém acél trapézlemezre készített vasbeton lemezzel

A különböző installációk, infrastruktúra elhelyezése a födém rendszerben



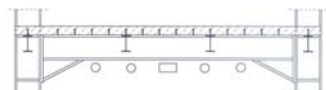
(A) Az acélgerenda gerinclemeznének kivágásával



(B) Az acélgerenda ráhelyezett mellégerendák sávjában



(C) Csuikós bekötésű gerenda esetében az oszlopok közelében

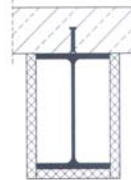


(D) Befogott bekötésű gerenda esetében a födém közepén

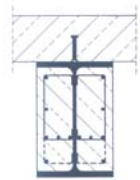
Tűzvédelem:



(A) Fuvattal felvitt anyag: ásványgyapot, cement vagy gipsz kötőanyaggal

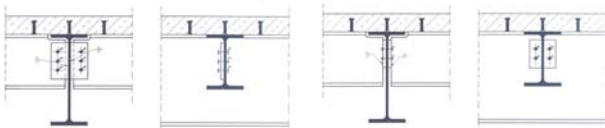


(B) Táblás/lemezes köszigetelés: gipszkarton lemez



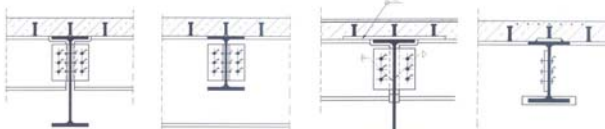
(C) Kibetonozás

Gerenda-gerenda kapcsolatok együttműködő födémekben



(A) Egyszerű kapcsolat gerincekötés lemezzel

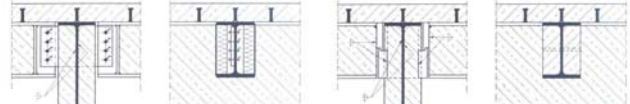
(C) Rugalmas honlöklemes kapcsolat



(B) Egyszerű kapcsolat gerincekötés szögacéllal

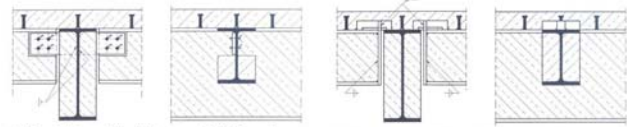
(D) Nyomatékálló bekötés

Kibetonozott egyszerű gerenda-gerenda kapcsolatok együttműködő födémeknél:



(A) Kapcsolat teljes magasságú gerincekötés lemezzel

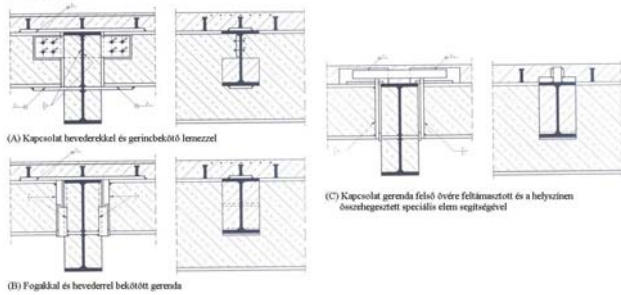
(C) Fogakkal bekötött gerenda



(B) Kapcsolat házott zónában elhelyezett gerincekötés lemezzel

(D) Kapcsolat gerenda felső övére feltámaszkodó speciális elem segítségével

Kibetonozott nyomatékbró gerenda-gerenda kapcsolatok együttdolgozó födémekkel

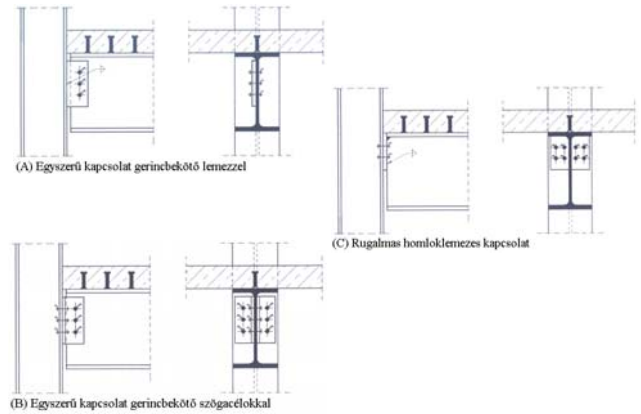


(A) Kapcsolat hevederrel és gerinbekötő lemezzel

(B) Fogakkal és hevederrel bekötött gerenda

(C) Kapcsolat gerenda felőre feltámasztott és a helyszínen összehajszott speciális elem segítségével

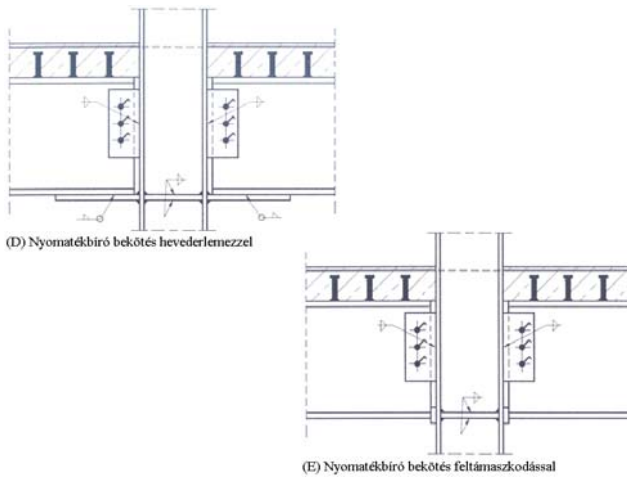
Oszlop-gerenda kapcsolatok együttdolgozó födémekben



(A) Egyszerű kapcsolat gerinbekötő lemezzel

(B) Egyszerű kapcsolat gerinbekötő szögacélakkal

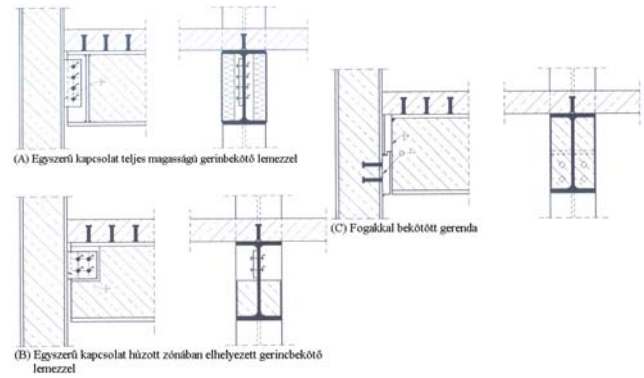
(C) Rugalmas homloklemez-es kapcsolat



(D) Nyomatékbró bekötés hevederlemezzel

(E) Nyomatékbró bekötés feltámaszkodással

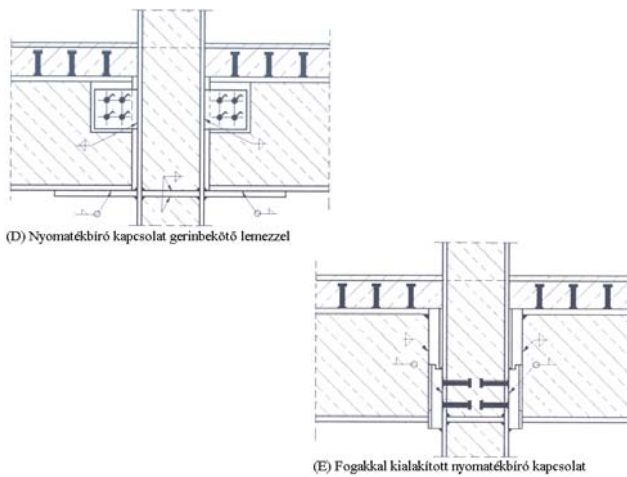
Kibetonozott oszlop-gerenda kapcsolatok együttdolgozó födémeknél:



(A) Egyszerű kapcsolat teljes magasságú gerinbekötő lemezzel

(B) Egyszerű kapcsolat húzott zónában elhelyezett gerinbekötő lemezzel

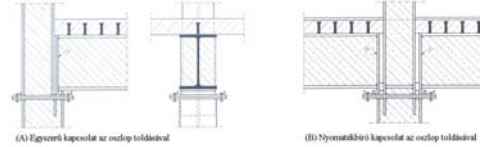
(C) Fogakkal bekötött gerenda



(D) Nyomatékbró kapcsolat gerinbekötő lemezzel

(E) Fogakkal kialakított nyomatékbró kapcsolat

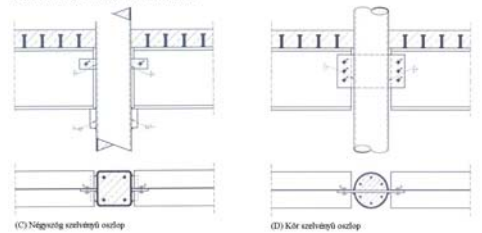
Kibetonozott oszlop-gerenda kapcsolatok együttdolgozó födémeknél



(A) Egyszerű kapcsolat az oszlop töléjáról

(B) Nyomatékbró kapcsolat az oszlop töléjáról

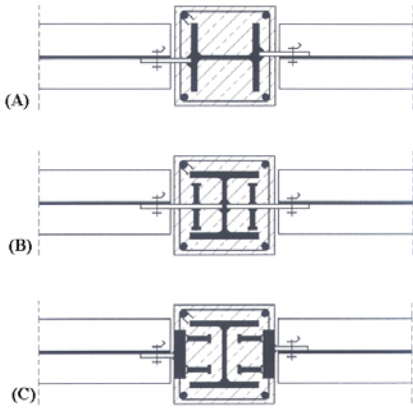
Zárt szelvényű kibetonozott oszlop és hengerekt gerenda kapcsolata együttdolgozó födémeknél



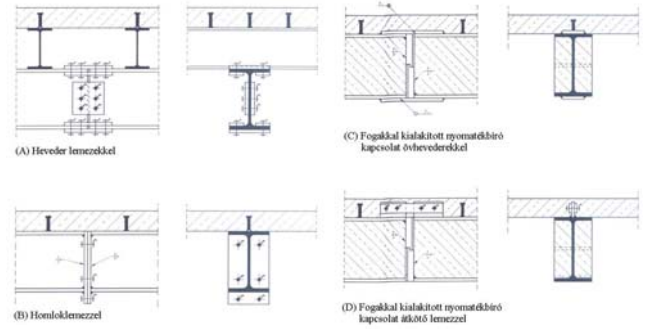
(C) Négyzetű szelvényű oszlop

(D) Kör szelvényű oszlop

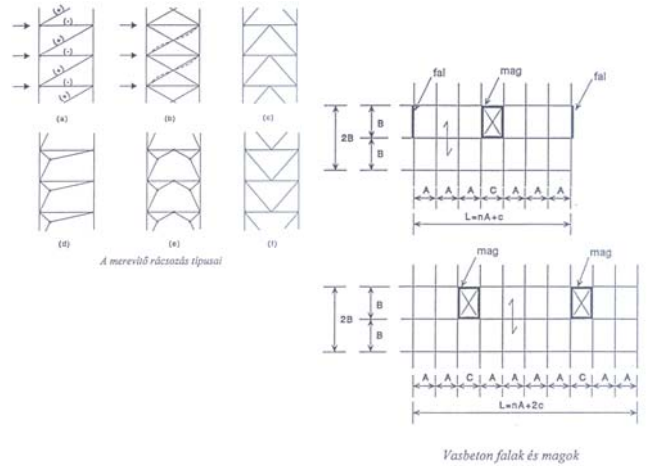
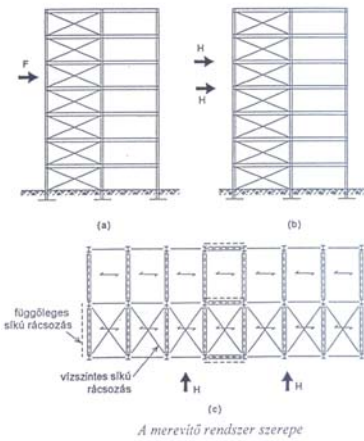
Merev acélbetétes vasbeton oszlopok és hengerelt gerendák egyszerű kapcsolatai



Gerenda illesztési együttdolgozó födémnél

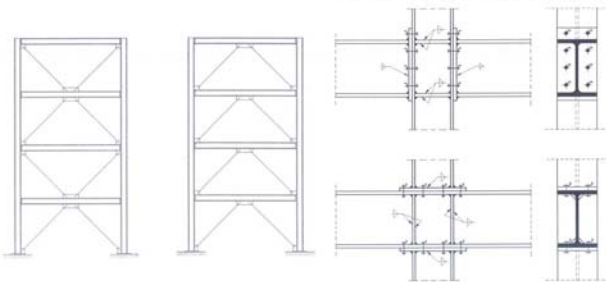


Merevítő rácsozás

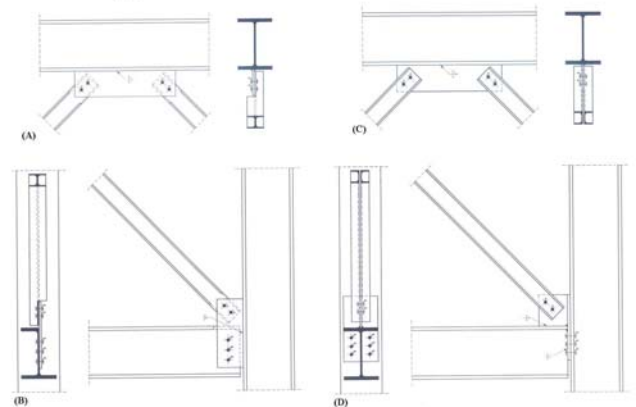


Merevítő rácsozás

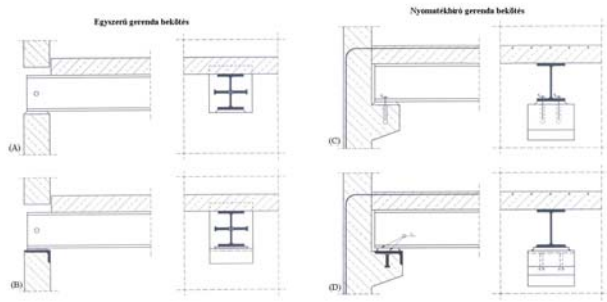
Keretsarok kialakítások homloklemez illesztésekkel



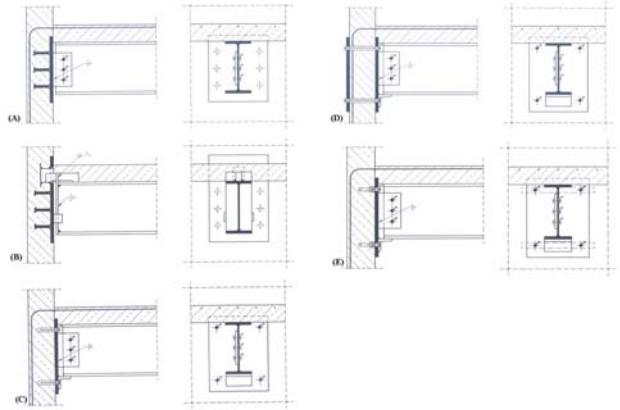
Merevítőrácsozás csomópontjai:



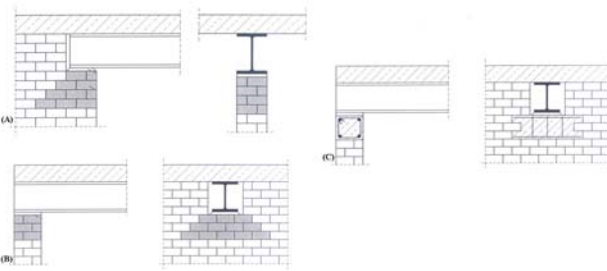
Együttdolgozó tartó kapcsolatai vasbeton lemezzel:



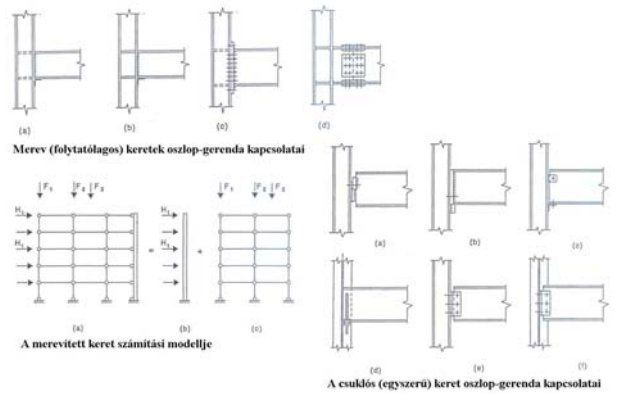
Együttdolgozó födém nyomatékbiró kapcsolatai:



Együttdolgozó födém kapcsolatai téglafallal:



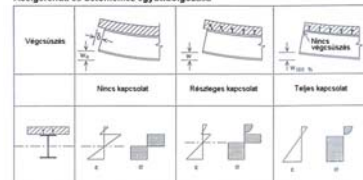
Szerkezeti rendszerek



Öszvér szerkezetek
Öszvér szerkezeti elemek épületekben

Öszvér gerenda		Acélgerenda öszvér födémrel vagy vasbeton lemezzel
Öszvér oszlop		Acélprofilok ki- vagy bebetonozva
Öszvér födém		Trapézlemez + beton

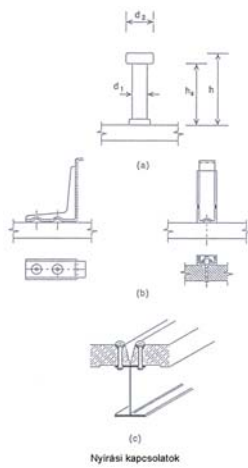
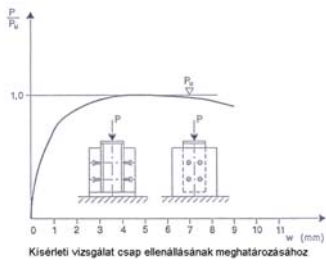
Acélgerenda és betonelem együttdolgozása



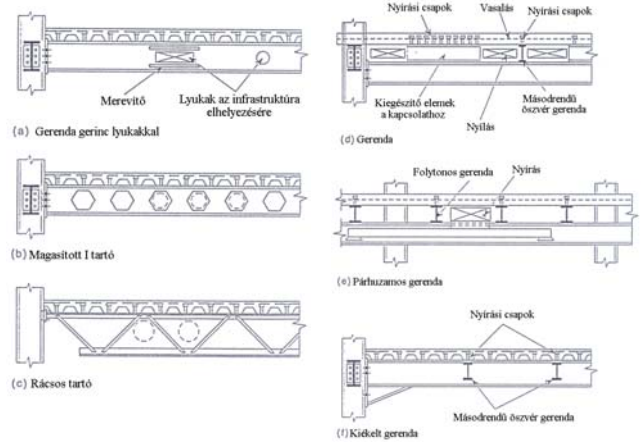
Összehasonlítás

	Öszvér gerenda	Acélgerenda merev együttdolgozó vasbeton lemezzel	HEB300B
Ellenállítás	100 %	100 %	100 %
Acélcsúly	100 %	160 %	215 %
Teljes magasság	100 %	130 %	95 %
Merevség	$I_y - 100 \%$ $I_{zz} - 70 \%$	70 %	45 %

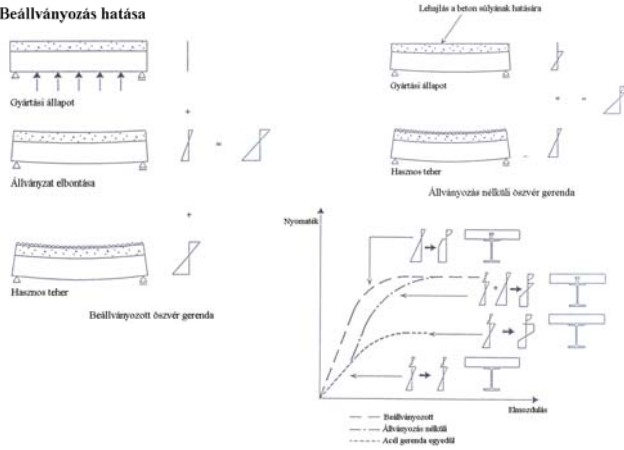
Ösvér gerendák



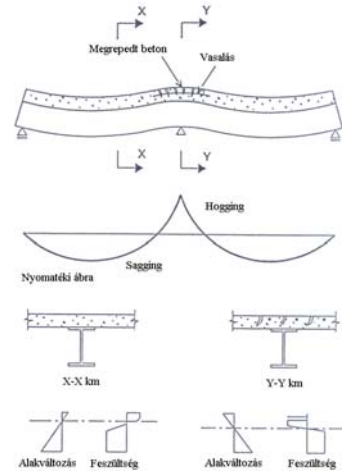
Különböző módszerek az infrastruktúra elhelyezésére



Beállványozás hatása

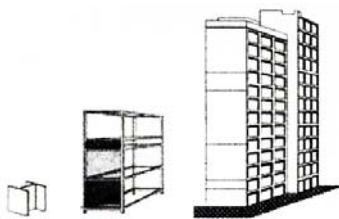


Töbttámaszú gerenda



Többszintes acélvázás épület szerkezeti részeinek árviszonyai

Tűz elleni védelem 30%	Egyebek 25%
Korrózió elleni védelem 10%	Befejezési munkálatok 10%
Gyártás 30%	Installációk 30%
Acélanvag 27%	Burkolatok 20%
Tervezés 3%	Födémek 5%
	Keret szerkezet 10%
Acél szelvények 400 Euro/t	Épület 13000 Euro/t

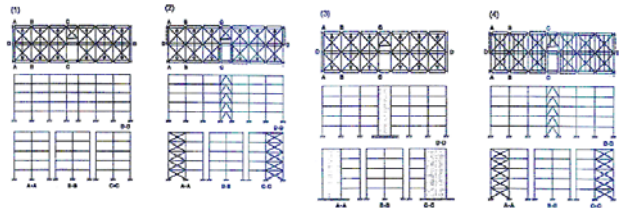


9. Előadás

Többszintes acélvázaskeretek merevítése

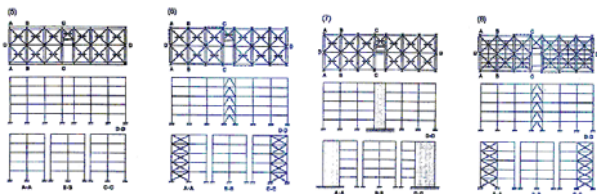
- Merevítések szerepe, kialakítások
- Számítási alapelvek
- Szerelés

Alacsony többszintes épület szerkezeti rendszerei



Alacsonyabb többszintes épületek szerkezeti rendszerei:

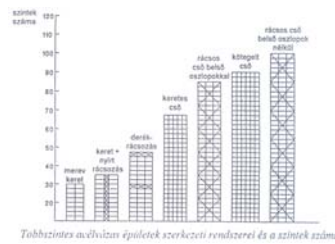
- (1) – hosszirányú merev keret, keresztirányban teherhódó földem;
- (2) – hosszirányú keret független síkú rácsoszással, keresztirányban teherhódó földem;
- (3) – hosszirányú keret vasbeton falakkal vagy maggal, keresztirányban teherhódó földem;
- (4) – hosszirányú keret bármely előző merevítéssel, hosszirányban teherhódó földem



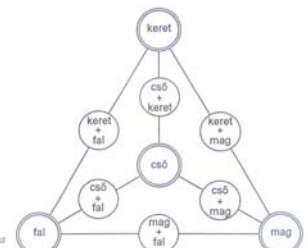
Alacsonyabb többszintes épületek szerkezeti rendszerei:

- (5) – keresztirányú merev keret, keresztirányban teherhódó földem;
- (6) – keresztirányú keret független síkú rácsoszással, keresztirányban teherhódó földem;
- (7) – keresztirányú keret vasbeton falakkal vagy maggal, keresztirányban teherhódó földem;
- (8) – keresztirányú keret bármely előző merevítéssel, hosszirányban teherhódó földem

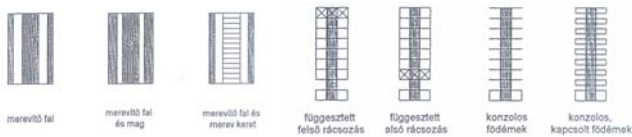
Magasépületek szerkezeti rendszerei



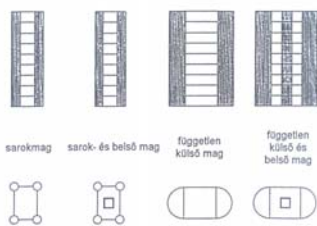
Többszintes acélvázaskeretek szerkezeti rendszerei és a szintek száma



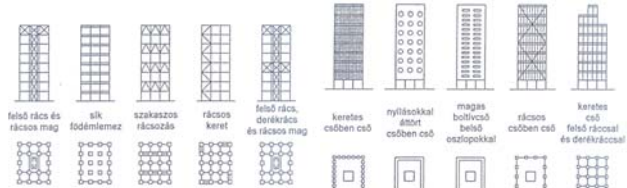
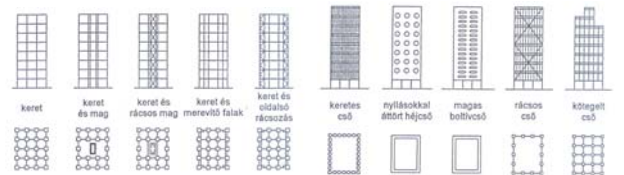
Többszintes épületek szerkezeti rendszereinek csoportosítása Drosdov és Lishak szerint



Merevítő falas szerkezeti rendszerek



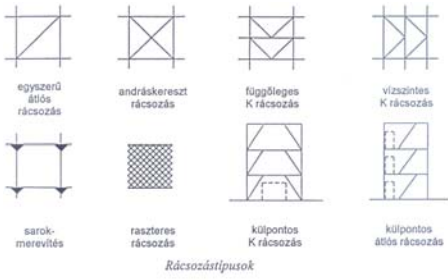
Merevítő magos rendszerek



Keretes rendszerek

Csőves rendszerek

Rácsos típusok



Rácsos helyettesítése:

$$t_e = \frac{E}{6} \cdot \frac{ab}{A_D \cdot \frac{d^2}{3} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

$$t_e = \frac{E}{6} \cdot \frac{ab}{A_D \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{b^2}{4} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

$$t_e = \frac{E}{6} \cdot \frac{ab}{2A_D \cdot \frac{d^2}{12} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

$$t_e = \frac{E}{6} \cdot \frac{ab}{2A_D \cdot \frac{d^2}{4} \cdot \frac{b^2}{12} \left(\frac{1}{A_{G1}} + \frac{1}{A_{G2}} \right)}$$

$$t_e = \frac{1}{\frac{12a^2}{17a^2} + \frac{ab^2}{24I_g}}$$

t_e helyettesítő vastagsági ideális lemez számítása

A_D : D ferde rácsrúd keresztmetszeti területe
 A_V : V függőleges rácsrúd keresztmetszeti területe
 A_{G1} : G_1 ill. G_2 övrúd keresztmetszeti területe

[Hoyer, Hohaus, 1974]

Számítási modellek

Oszlop-gerenda kapcsolatok: (a) - mellékirányú kapcsolat; (b) - főirányú kapcsolat

A csuklós keret számítási modellje

A csuklókeret oszlopainak számítási modellje

Merevítő rácsos

Az andráskereszt rácsos viselkedése

A rácsrudak ráderői

A központi F-rácsos viselkedése

A külpontos F-rácsos viselkedése

A házott és a nyomott rácsrúd eltrő viselkedése

Szerkezetek viselkedése vízszintes terhekre

Központos rácsosú merevített keret

Nyomaték-ellenforduló keret

A központos rácsosú viselkedése ciklikus terhelésre

Különböző kialakítású oszlop-gerenda kapcsolatok viselkedése ciklikus terhelésre

Központos rácsosúak

Külpontos rácsosú merevített keret

Nyírdaerő (kN)

Eltolódás (cm)

Az aktív kötés viselkedése ciklikus terhelésre

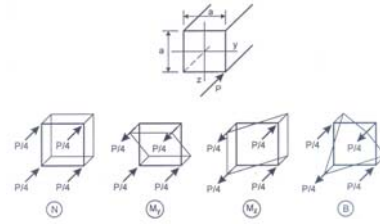
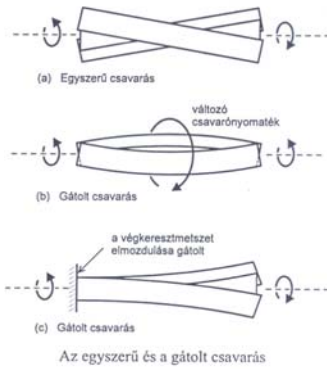
Rugalmas állapotban lévő rüdszerkezet csavarás

Merevítőrendszer modellezése:

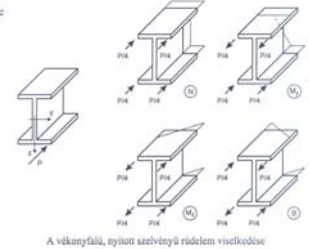


[Táblázatok 108-112. oldal]

Az egyszerű és gátolt csavarás



A tömör szelvényű rüdelem viselkedése



A vékonyfalú, nyitott szelvényű rüdelem viselkedése

Szabad (vagy egyszerű) csavarás:

$$\theta = \frac{d\phi}{dx} = \frac{M_x}{G I_x}$$

$$I_x = \int_A r^2 ds$$

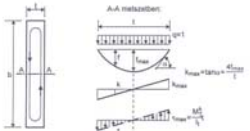
$$f_{max} = \frac{q \cdot l^2}{8h}$$

illetve $q = h = 1$ esetén:

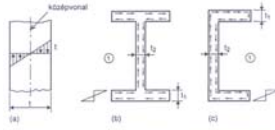
$$f_{max} = \frac{l^2}{8}$$

Az esővonal hajlása egy A-A metszet mentén lineárisan változik.

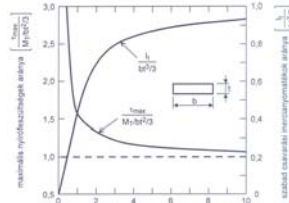
$$I_x = 4V = 4 \cdot \frac{2}{3} \cdot b \cdot l \cdot f_{max} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot l^3$$



A membránanalógia alkalmazása vékonyfalú szelvényekre



A nyírófeszültségek eloszlása a keresztmetszetben belül



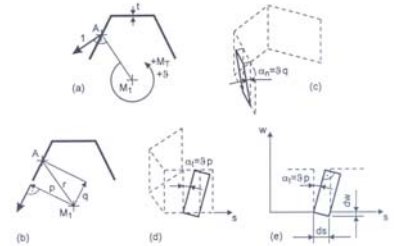
A nyírófeszültség és a szabad csavarási irányítottárási változása a szélesség-vastagság viszony függvényében

Vetemedési mérték A középvonalon két szomszédos pontjára vonatkozólag az egymástól ds távolságra levő két pont síkjából való kitérésének nagysága közötti különbség

$$dw = -\alpha_x \cdot ds = -\theta \cdot p \cdot ds$$

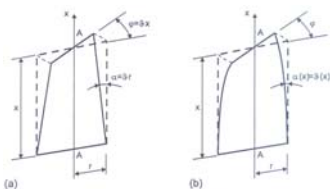
illetve az $\omega = w / \theta$ vetemedési mértékre áttérve:

$$d\omega = -p \cdot ds$$



Vékonyfalú rüdelem vetemedése (torzulása)

Gátolt csavarás



Az alkotók helyzete szabad és gátolt csavarás esetén

$$\theta(x) = \frac{d\phi(x)}{dx}$$

$$w(x, y, z) = \omega(y, z) \cdot \theta(x) = \omega(y, z) \cdot \frac{d\phi(x)}{dx}$$

$$dw = \omega \cdot \frac{d^2\phi(x)}{dx^2} \cdot dx$$

$$\epsilon = \frac{dw}{dx} = \omega \cdot \frac{d^2\phi(x)}{dx^2} \quad \sigma_{\omega} = E \cdot \epsilon = E \cdot \omega \cdot \frac{d^2\phi(x)}{dx^2}$$

Csavarási középpont

$$\int_A \sigma_{\omega} \cdot dA = E \cdot \frac{d^2\phi(x)}{dx^2} \cdot \int_A \omega \cdot dA = 0;$$

$$\int_A \sigma_{\omega} \cdot z \cdot dA = E \cdot \frac{d^2\phi(x)}{dx^2} \cdot \int_A \omega \cdot z \cdot dA = 0;$$

$$\int_A \sigma_{\omega} \cdot y \cdot dA = E \cdot \frac{d^2\phi(x)}{dx^2} \cdot \int_A \omega \cdot y \cdot dA = 0.$$

A keresztmetszetben belüli állandókkal való egyszerűsítéssel egyszerűbb alakba írva:

$$\int_A \omega \cdot dA = 0;$$

$$\int_A \omega \cdot z \cdot dA = 0;$$

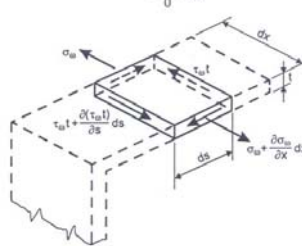
$$\int_A \omega \cdot y \cdot dA = 0.$$

A gátolt csavarási nyírófeszültségek

$$\frac{\partial \sigma_{\omega}}{\partial x} \cdot dx \cdot t \cdot ds + \frac{\partial(\tau_{\omega} \cdot t)}{\partial s} \cdot ds \cdot dx = 0,$$

ahonnan

$$\tau_{\omega} = -\frac{1}{t} \cdot \int_0^s \frac{\partial \sigma_{\omega}}{\partial x} \cdot t \cdot ds$$



A gátolt csavarási normál- és nyírófeszültségek egyensúlya

$$\tau_{\omega} = -E \cdot \frac{d^3\phi(x)}{dx^3} \cdot \frac{1}{t} \cdot \int_0^s \omega \cdot t \cdot ds$$

$$= -E \cdot \frac{d^3\phi(x)}{dx^3} \cdot \frac{1}{t} \cdot S_{\omega},$$

ahol

$$S_{\omega} = \int_0^s \omega \cdot t \cdot ds$$

$$M_{\omega} = \int \tau_{\omega} \cdot t \cdot p \cdot ds,$$

$$M_{\omega} = -E \cdot \frac{d^3\phi(x)}{dx^3} \cdot \int_A \omega \cdot dA,$$

vagy az

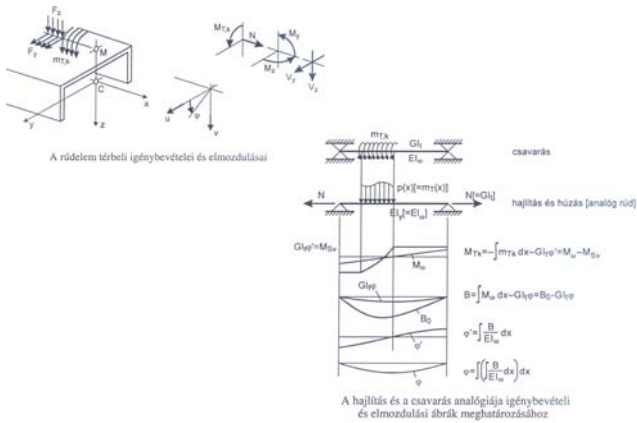
$$I_{\omega} = \int_A \omega \cdot dA$$

$$M_{\omega} = -E I_{\omega} \cdot \frac{d^3\phi(x)}{dx^3}$$

csavarási differenciálegyenlet:

$$M_T^1 = G I_T \cdot \frac{d\phi(x)}{dx} - E I_{\omega} \cdot \frac{d^3\phi(x)}{dx^3}$$

Számítási analógiák a hajlítási és csavarási feladatok megoldásánál



Első- és másodrendű hajlítás

Összefüggés	Hajlított tartó	Húzott-hajlított tartó
Alapegyenlet	$EI_y \cdot u'''' = q_z$	$EI_y \cdot u'''' - N \cdot u'' = q_z$
Nyíróerő	$EI_y \cdot u''' = \int q_z dx = -\bar{V}_z$	$EI_y \cdot u''' = \int q_z dx + N \cdot u' = -\bar{V}_z + N \cdot u' = -V_z$
Nyomaték	$EI_y \cdot u'' = \int (-\bar{V}_z) dx = -\bar{M}_y$	$EI_y \cdot u'' = \int (-V_z) dx + N \cdot u = -\bar{M}_y + N \cdot u = -M_y$
Elfordulás	$EI_y \cdot u' = \int \bar{M}_y dx$	$EI_y \cdot u' = \int M_y dx$
Eltolódás	$EI_y \cdot u = \iint \bar{M}_y dx dx$	$EI_y \cdot u = \iint M_y dx dx$

A hajlítási és a csavarási feladat

Húzott-hajlított tartó	Csavarásra igénybe vett rúd
$EI \cdot u'''' - N \cdot u'' = q$	$EI_\omega \cdot \varphi'''' - GI_t \cdot \varphi'' = m_{T,k}$
$EI \cdot u'' - N \cdot u = \iint q dx dx + C_1 \cdot x + C_2$	$EI_\omega \cdot \varphi'' - GI_t \cdot \varphi = \iint m_{T,k} dx dx + C_1 \cdot x + C_2$
$EI \cdot u'' - N \cdot u = -M_0$	$EI_\omega \cdot \varphi'' - GI_t \cdot \varphi = -M_{T,0}$
$\varepsilon = l \cdot \sqrt{N/EI}$; $\xi = x/l$	$\varepsilon_\omega = l \cdot \sqrt{GI_t/EI_\omega}$; $\xi = x/l$
$u = A \cdot \sin h\varepsilon \xi + B \cdot \cos h\varepsilon \xi + \frac{1}{N} \cdot \left(M_0 + \frac{l^2}{\varepsilon^2} \cdot M_0' \right)$	$\varphi = A \cdot \sin h\varepsilon_\omega \xi + B \cdot \cos h\varepsilon_\omega \xi + \frac{1}{GI_t} \cdot \left(M_{T,0} + \frac{l^2}{\varepsilon_\omega^2} \cdot M_{T,0}' \right)$

Hajlítási és csavarási igénybevételek, feszültségek és keresztmetszeti jellemzők

Hajlítási keresztmetszeti jellemzők	Csavarási keresztmetszeti jellemzők
Inercianyomaték [cm ⁴] $I_y = \int z^2 dA$ (A)	Gátolt csavarási inercianyomaték [cm ⁶] $I_\omega = \int \omega^2 dA$ (A)
Az elcsúszni akaró szelvényrész statikai nyomatéka az y tengelyre [cm ³] $S_y = \int z dA$ (A)	Keresztmetszeti jellemző a gátolt csavarási nyírófeszültség számításához, vékonyfalú szelvényeknél [cm ⁴] $S_\omega = \int \omega dA$ (A)
-	Szabad csavarási inercianyomaték vékonyfalú, nyitott szelvényeknél [cm ⁴] $I_t = \frac{1}{3} \cdot c \cdot \sum b_i \cdot t_i^3$

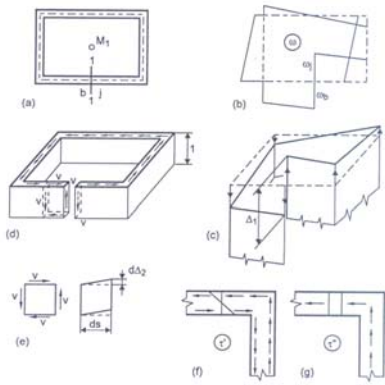
A hajlítási és csavarási kerületi feltételek

Megtámasztás	Hajlítás	Csavarás
Csuklós, villás	 $u = 0$ $u'' = 0 (M_y = 0)$	 $\varphi = 0$ $\varphi'' = 0 (B = 0)$
Befogás	 $u = 0$ $u' = 0$	 $\varphi = 0$ $\varphi' = 0$
Szabad rúdvég	 $u''' = 0 (V_z = 0)$ $u'' = 0 (M_y = 0)$	 $\varphi''' = 0 (M_t = 0)$ $\varphi'' = 0 (B = 0)$

Hajlítási és csavarási igénybevételek, feszültségek és keresztmetszeti jellemzők

Hajlítási igénybevételek	Csavarási igénybevételek
-	Egyszerű csavarásból tartozó csavarónyomaték [Nmm] $M_T = GI_t \cdot \varphi'$
Nyíróerő [N] $V_z = -\frac{dM_y}{dx} = EI_y \cdot u'''$	Gátolt csavarási nyomaték [Nmm] $M_\omega = -\frac{dB}{dx} = -EI_\omega \cdot \varphi''$
Hajlítónyomaték [Nmm] $M_y = -EI_y \cdot u''$	Kettőnyomaték [Nmm ²] $B = EI_\omega \cdot \varphi'$
Hajlítási feszültségek	Csavarási feszültségek
-	Egyszerű csavarásból keletkező nyírófeszültség [N/mm ²] $\tau_T = \frac{M_T}{I_t} \cdot \eta = GI_t \cdot \varphi' \cdot \frac{l}{I_t}$
Hajlítási nyírófeszültség [N/mm ²] $\tau_z = -\frac{EI_y \cdot u'''}{t} \cdot \frac{S_y}{I_y} \cdot \frac{V_z}{I_y}$	Gátolt csavarási nyírófeszültség [N/mm ²] $\tau_\omega = -\frac{EI_\omega \cdot \varphi''}{t} \cdot \frac{S_\omega}{I_\omega} = -\frac{M_\omega}{t} \cdot \frac{S_\omega}{I_\omega}$
Hajlítási normálfeszültség [N/mm ²] $\sigma_x = -EI_y \cdot u'' \cdot \frac{z}{I_y} = M_y \cdot \frac{z}{I_y}$	Gátolt csavarási normálfeszültség [N/mm ²] $\sigma_\omega = -EI_\omega \cdot \varphi'' \cdot \frac{\omega}{I_\omega} = B \cdot \frac{\omega}{I_\omega}$

Vékonyfalú, zárt szelvények



Zárt szelvény egyszerű csavarása

$$\Delta_1 = w_b - w_j = \oint (\omega_b - \omega_j) = 2A_{0j} \cdot \vartheta = -2A_{0i} \cdot \vartheta$$

$$d\Delta_2 = \frac{v}{G \cdot t} \cdot ds$$

$$\Delta_2 = \frac{v}{G} \cdot \oint \frac{ds}{t}$$

$$\Delta_1 + \Delta_2 = 0$$

$$v = \frac{2A_{0i} \cdot G \cdot \vartheta}{\oint \frac{ds}{t}}$$

$$\oint \frac{ds}{t} = \sum \frac{b_i}{t_i}$$

$$v = \frac{2A_{0i} \cdot G \cdot \vartheta}{\sum \frac{b_i}{t_i}}$$

Keresztmetszeti jellemzők, nyírófeszültségek, csavarónyomatékok

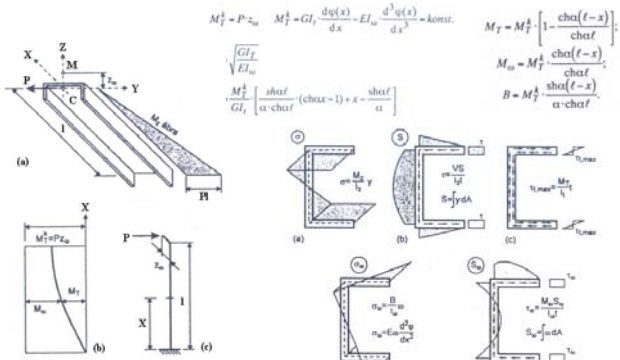
$$I_T = \frac{4A_{0i}^2 \cdot t}{\sum b_i}$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{M_T}{I_T} \cdot \left(t_i + \frac{2A_{0i}}{\sum \frac{b_j}{t_j}} \cdot \frac{1}{t_i} \right)$$

$$\omega_j^* - \omega_i^* = 2A_{0j} + \frac{2A_{0i}}{\sum \frac{b_j}{t_j}} \cdot \int \frac{ds}{t}$$

$$M_T = M_{T1} + M_{T2} = \vartheta \cdot G \cdot \left(I_T + \frac{4A_{0i}^2}{\sum \frac{b_i}{t_i}} \right)$$

Konzoltartó hajlítása és csavarása: példa [Csellár, Halász, Réti, 1965]



$$M_z^I = P \cdot z_w \quad M_z^I = GI_z \frac{d\varphi(x)}{dx} - EI_w \frac{d^3 w(x)}{dx^3} = konst.$$

$$M_T = M_T^I \left[1 - \frac{\text{ch} \alpha(l-x)}{\text{ch} \alpha l} \right];$$

$$M_w = M_w^I \frac{\text{ch} \alpha(l-x)}{\text{ch} \alpha l};$$

$$B = M_T^I \frac{\text{sh} \alpha(l-x)}{\alpha \cdot \text{ch} \alpha l}.$$

"U" keresztmetszetű, egyik végén befogott hajlított konzoltartó csavarása

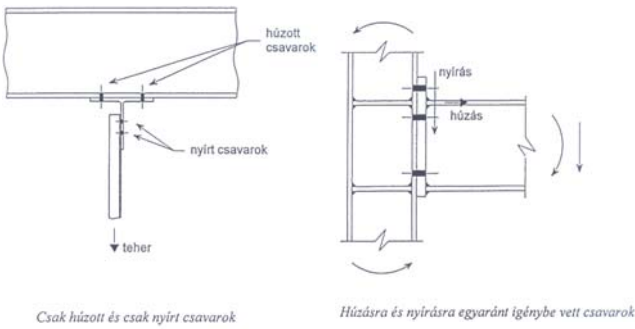
A feszültségek eloszlása a keresztmetszetben belül hajlítás és csavarás esetén

10. Előadás

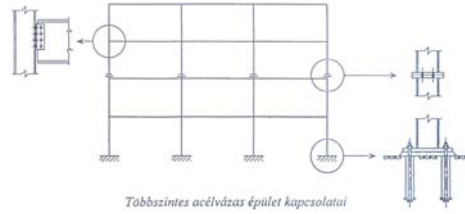
Többszintes acélvázak rendszerei kapcsolatai

- Szerkezet és kapcsolat kölcsönhatása
- Kísérletek szerepe

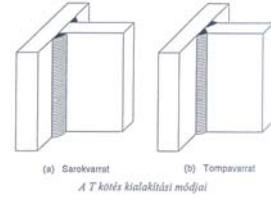
Csavarok



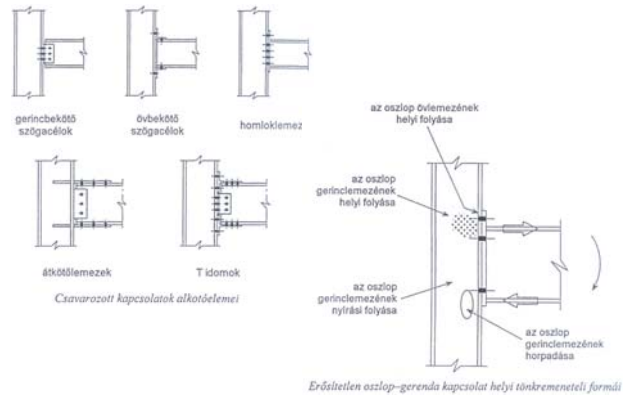
Acélvázak épület kapcsolatai



Hegesztési varratok

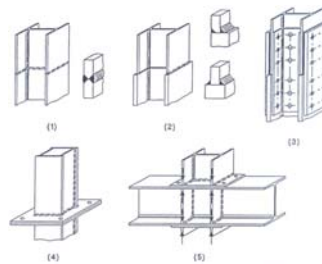


Más kapcsolóelemek

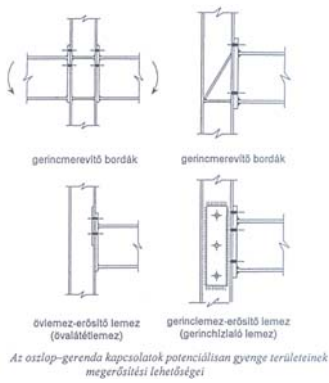
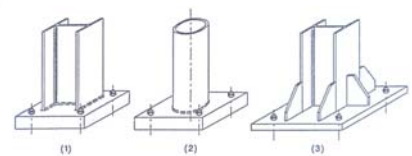


A kapcsolatok típusai

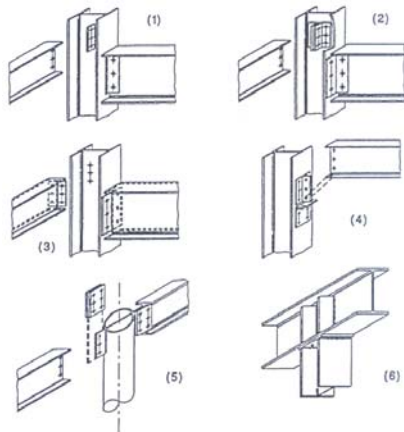
Oszlopillesztések



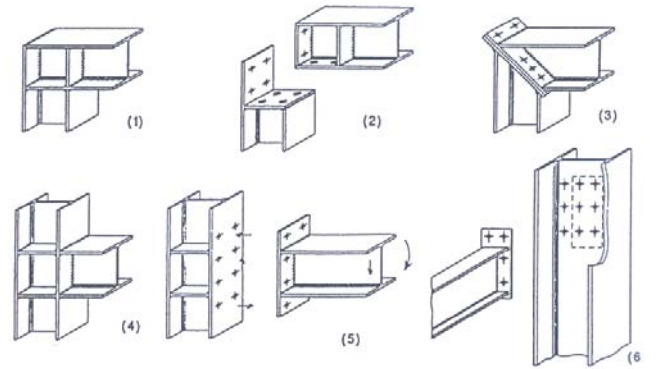
Oszloptalpak



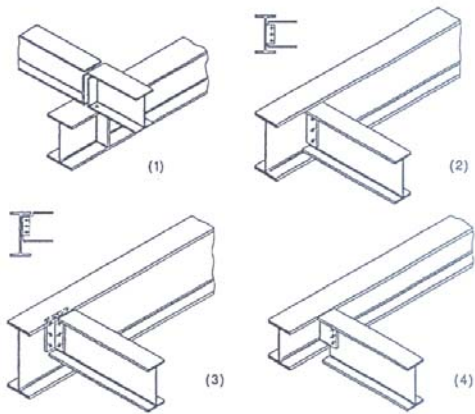
Csuklós oszlop–gerenda kapcsolatok



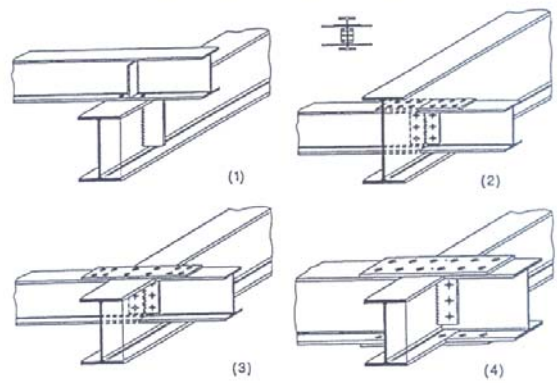
Nyomatékálló oszlop–gerenda kapcsolatok



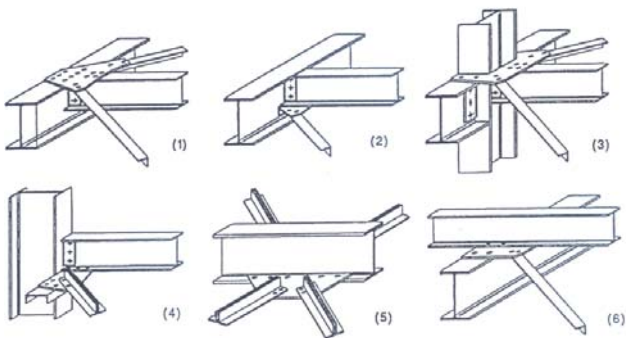
Csuklós gerenda–gerenda kapcsolatok



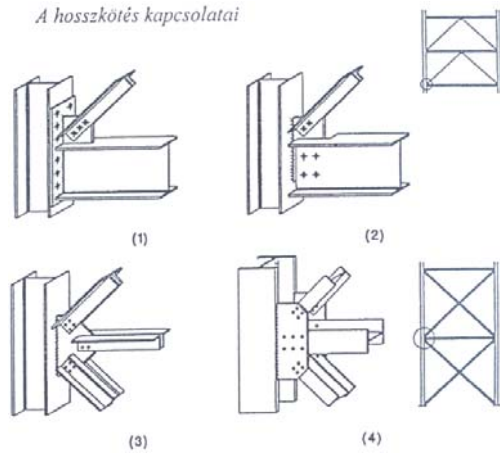
Nyomatékálló gerenda–gerenda kapcsolatok



A szélrács kapcsolatai



A hosszökötés kapcsolatai



Szerkezetek globális vizsgálata

Globális vizsgálat [prEN 1993-1-1:2002 5.2]

A belső erők, igénybevételek meghatározhatók

- első-rendű vizsgálattal, a szerkezet kezdeti geometriájának felhasználásával
- második-rendű vizsgálattal, a szerkezet deformációinak figyelembevételével.

Első-rendű vizsgálat alkalmazható, ha

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{crit}}{F_{Ed}} \geq 10$$

ahol: α_{cr} az a tényező, amellyel a tervezési terhet megnövelve adódik a rugalmas kilendülő instabilitási terhelés

F_{Ed} a szerkezet tervezési terhe

F_{crit} a rugalmas kritikus terhelés globális instabilitás esetén

Imperfekciók: (a) globális imperfekciók keretekre és megmásztató szerkezetekre
(b) lokális imperfekciók a szerkezeti rudakra

Imperfekciók keretek globális analizéséhez [pr EN 1993-1-1:2002 5.3.2]

Síkbeli kihajlás esetén:

(a) globális ferdeség ϕ



$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_b \cdot \alpha_m$$

ahol: $\phi_0 = 1/200$ kezdeti érték

α_b a h magasságú oszlopokhoz alkalmazható csökkentő tényező:

$$\alpha_b = \frac{2}{\sqrt{h}}, \text{ de } \frac{2}{3} \leq \alpha_b \leq 1,0$$

h a szerkezet magassága méterben

α_m az egy sorban lévő oszlopok számához tartozó csökkentő tényező:

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

m egy sorban lévő azon oszlopok száma, melyeket az adott függőleges síkban számított átlagos N_{Ed} függőleges terhelés legalább 50 %-a terhel.

b) lokális görbesség e_0

kihajlási görbe jele	rugalmas analízis	képlékeny analízis
	L / e_0	L / e_0
a_0	350	300
a	300	250
b	250	200
c	200	150
d	150	100

L az elem hossza

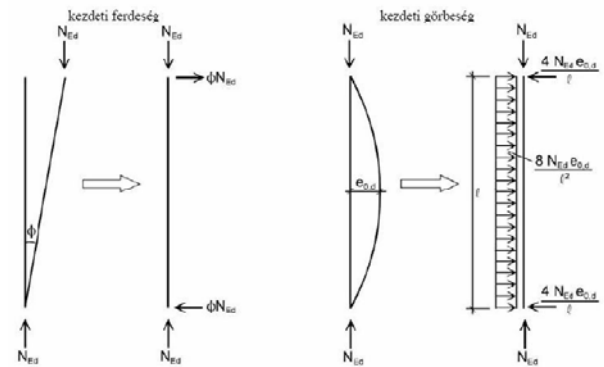
Az elemek lokális görbessége elhanyagolható és csak a globális ferdeséget kell figyelembe venni a végerők és nyomatékok meghatározásához, ha minden nyomott oszlopra teljesül a következő kritérium:

$$\bar{\lambda} \leq 0,5 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$$

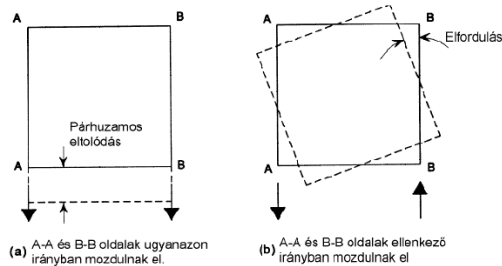
ahol N_{Ed} a nyomóerő tervezési értéke

$\bar{\lambda}$ a csuklósnak feltételezett oszlop síkbeli redukált karcsúsága

A kezdeti ferdeség és kezdeti görbesség helyettesíthető az oszlopokat terhelő vízszintes erőkkel:



A szerkezet lehetséges torziós hatása is figyelembe vehető megfelelő eltolódások alkalmazásával:



A globális és lokális imperfekciók figyelembevételének alternatív módjaként a szerkezet rugalmas kritikus kihajlási alálajához tartozó η_{crit} is felhasználható, mint egységes globális és lokális imperfekció. Az imperfekció alakja ekkor így írható fel:

$$\eta_{int} = e_{0,d} \frac{M_{Ed}}{EI} \eta_{crit,max} \eta_{crit}$$

ahol: $\bar{\lambda} > 0,2$ esetén

$$e_{0,d} = \frac{\alpha (\bar{\lambda} - 0,2)}{\bar{\lambda}} \frac{1 - \chi^2 \bar{\lambda}^{-2}}{1 - \chi^2 \bar{\lambda}^{-2}}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult}}{\alpha_{crit}}} \text{ a szerkezet relatív karcsúsága}$$

α a megfelelő kihajlási görbéhez tartozó imperfekciós tényező

χ kihajlási csökkentő tényező

α_{ult} az N_{Ed} erőrendszer $N_{Ed,k}$ karakterisztikus ellenállás eléréséhez tartozó legkisebb erőszorzója a kihajlás figyelembevétele nélkül

α_{crit} az N_{Ed} erőrendszer legkisebb erőszorzója a kihajlás figyelembevételével

$M_{Ed,k}$ a kritikus keresztmetszet nyomatéki ellenállásának karakterisztikus értéke, pl. $M_{Ed,k}$ vagy $M_{pl,Rk}$

$EI \eta_{crit}$ a kritikus keresztmetszetben η_{crit} hatására ebredő hajlító nyomaték

Imperfekciók megtámasztó rendszerek globális analizéséhez [pr EN 1993-1-1:2002 5.3.3]

Megtámasztó szerkezetek imperfekciója kezdeti görbeséggel adható meg:

$$e_0 = \alpha_m L / 500$$

ahol: L a megtámasztó rendszer támaszköze

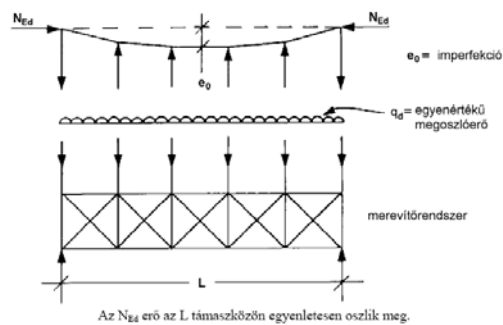
$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

m a megtámasztott elemek száma

A megtámasztó szerkezetek imperfekciós hatása helyettesíthető egyenértékű stabilizáló erővel:

$$q = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2}$$

ahol: δ_q a megtámasztó rendszer síkbeli lehajlása q teher és bármely, elsőrendű analizisből számított külső teher együttes hatására. Másodrendű elmélet esetén $\delta_q = 0$ alkalmazható.



Gerenda-oszlop típusú síkbeli keretek esetében az elsőrendű vizsgálat követelménye így vizsgálható [pr EN 1993-3:2002 5.2.1 (2)]:

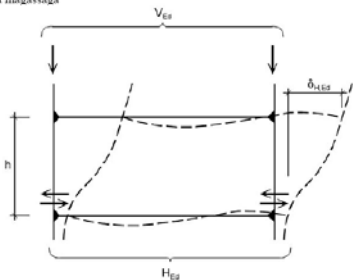
$$\alpha_{crit} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \geq 10$$

ahol: H_{Ed} a színt alján ható vízszintes valódi és fiktív erők vízszintes reakcióereje

V_{Ed} a szerkezet teljes függőleges terhe a színt tetején

$\delta_{H,Ed}$ a színt felő szélének eltolódása az alsó élhez viszonyítva a valódi (pl. szélteher) és a fiktív vízszintes erők hatására

h a színt magassága



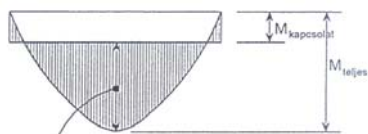
Egyszintes keretek esetében a másod-rendű hatás számítható a H_{Ed} vízszintes teher (pl. szélteher) és egy az imperfekciókból származó ekvivalens teher figyelembevételével [pr EN 1993-3:2002 5.2.2 (2)]:

$$H = H_0 \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{crit}}}; \quad \alpha_{crit} = \left(\frac{H_0}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \geq 3,0; \quad H_0 = H_{Ed} + V_{Ed} \phi$$

Többszintes keretek esetében a másod-rendű hatás számítható az előbb megadott módszerrel, ha minden egyes szintnél azonos a

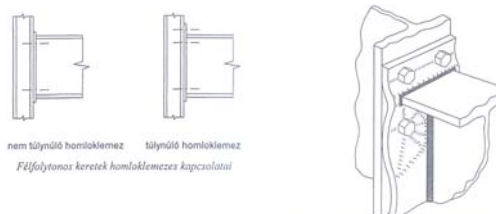
- a függőleges színterők megoszlása,
- a vízszintes színterők megoszlása,
- és a kereterevességek megoszlása szintenként a vízszintes erők hatására.

RÉSZLEGES SZILÁRDSÁGÚ KAPCSOLATOK ÉS RÉSZLEGESEN FOLYTATÓLAGOS KERETEK

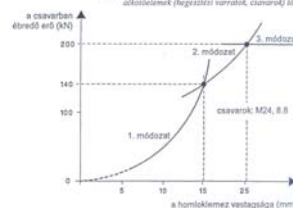


$$M = M_{teljes} - M_{kapcsolat} \quad (\text{a gerendát erre a nyomatékra tervezzük})$$

A félfoltyonos, merevített keret egy gerendájának nyomatéki ábrája. Az $M_{kapcsolat}$ értéket a gerenda kiválasztásakor kell felvenni.

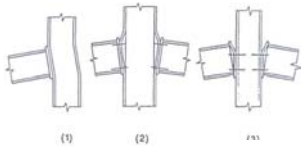


Itt a homloklemez folytonos a mértékű, akkor nem kerültek be a résnyitól elmozdulások (húgásztól varratok, csavarok) töltőbetéteivel

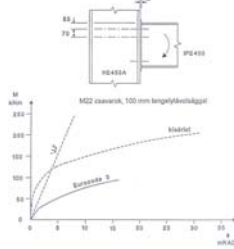


A homloklemez vastagságának hatása a kapcsolat viselkedésére és a töltőbetétek mélyéig.

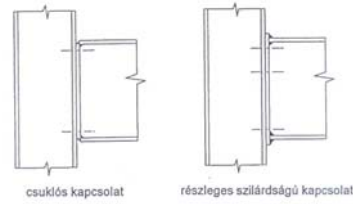
A kapcsolat mechanikai jellemzői, alakváltozási képesség ellenőrzése



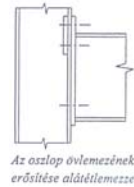
Az Eurocode 3 szerinti három lehetséges tönkremeneteli mód, amely megfelelő alakváltozási (elfordulási) képességet biztosít. (1)–csak egyoldali kapcsolatot (szélső oszlop) esetién jön szóba; (2)–csak ha az oszlop övlemeze vékony; (3)–mindig kézben tartható: a csavarok méretének és anyagminőségének függvényében úgy kell felvenni a homloklemez vastagságát, hogy kielégítő viselkedésű kapcsolatot nyerjünk



Stabilitás, megfelelő alakváltozási képességű kapcsolat merevségének meghatározása (a 127. oldal görbére az a legjelölés pontos, amelyet az EC3 1. rész tábláinak működtetésére felhívunk)



Egyszerű (csuklós) és félfolytonos (részleges szilárdságú) kapcsolat. Az ábrán vázolt kialakítással a jobb oldali kapcsolat 400 mm magasságú gerenda esetén kb. a gerenda képlékeny nyomtatói ellenállásának 33%-ának megfelelő ellenállással rendelkezik



A gazdaságosság követelményei [Van Dornen, 1981]

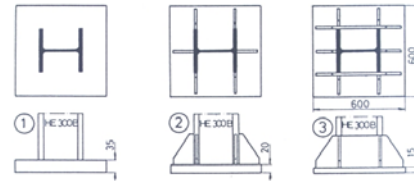
Az acélszerkezetek költségeinek egyik része anyagköltség, másik része pedig munkaköltség:

- Anyagköltség 20–40%
- munkaköltség (számítás, rajz, gyártás, felülvétel, szerelés) 60–80%

A költségek megbeszése során a következő feltételezések tehetők:

- 1 cm³ hegesztési varrat ára megegyezik 0,7 kg acél árával;
- a merevítő bordák leszábai költsége megegyezik a felhegesztésük költségével
- csavarozott kapcsolatban egy lyuk ára (lyukkiképzés + csavar behelyezése) megegyezik 2 kg acél árával

Oszloptalpak I.

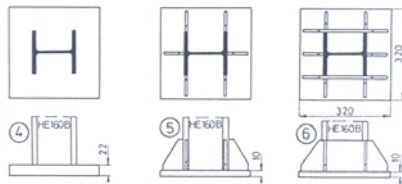


Az 1-hez viszonyítva		
kevesebb acél	-22 kg	-4 kg
több hegesztési varrat	+137 kg	+224 kg
gyártási költségek	+137 kg	+224 kg
Különbőség	+252 kg	+444 kg

Oszloptalpak II.

A 4-hez viszonyítva

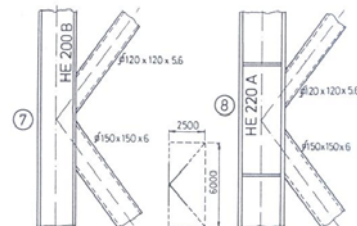
kevesebb acél	-6 kg	-1 kg
több hegesztési varrat	+34 kg	+54 kg
gyártási költségek	+34 kg	+54 kg
Különbőség	+62 kg	+107 kg



Merevítő csomópontok

A 7-hez viszonyítva

kevesebb acél	-48 kg
több hegesztési varrat	+50 kg
gyártási költségek	+50 kg
Különbőség	+52 kg



Oszlop-gerenda kapcsolatok I.

A 9-hez viszonyítva

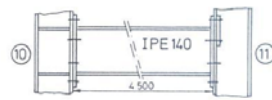
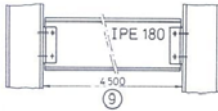
kevesebb acél
több hegesztési varrat
gyártási költségek
(lemezek leszabása)
Csavarlyukak
+4 lyuk
+12 lyuk

-16 kg	-22 kg
+79 kg	+20 kg
+79 kg	+20 kg

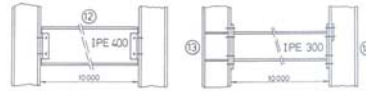
+8 kg	+24 kg
-------	--------

Különbég

+150 kg	+42 kg
---------	--------



Oszlop-gerenda kapcsolat II.



A 12-höz viszonyítva

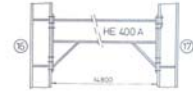
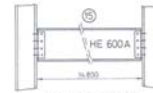
Kevesebb acél
Több hegesztési varrat
Gyártási költségek
(lemezek leszabása stb.)
Csavarlyukak

-202 kg	-207 kg
+209 kg	+80 kg
+209 kg	+80 kg

+4 lyuk	+24 kg
+12 lyuk	

Különbég

+224 kg	-23 kg
---------	--------



A 15-höz viszonyítva

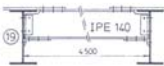
Kevesebb acél
Több hegesztési varrat
Gyártási költségek
(lemezek leszabása stb.)
Csavarlyukak

-565 kg	-595 kg
+795 kg	+644 kg
+795 kg	+644 kg

+4 lyuk	+32 kg
+16 lyuk	

Különbég

+1041 kg	+725 kg
----------	---------



A 18-höz viszonyítva

Kevesebb acél -16 kg
Csavarlyukak +122 kg
+56 lyuk
Gyártási költségek +38 kg

Különbég +134 kg

A 20-höz viszonyítva

Kevesebb acél -213 kg
Csavarlyukak +176 kg
+88 lyuk
Gyártási költségek +80 kg

Különbég +43 kg



A 22-höz viszonyítva

Kevesebb acél -585 kg
Csavarlyukak +164 kg
+56 lyuk
Több hegesztési varrat +376 kg
Gyártási költségek +376 kg

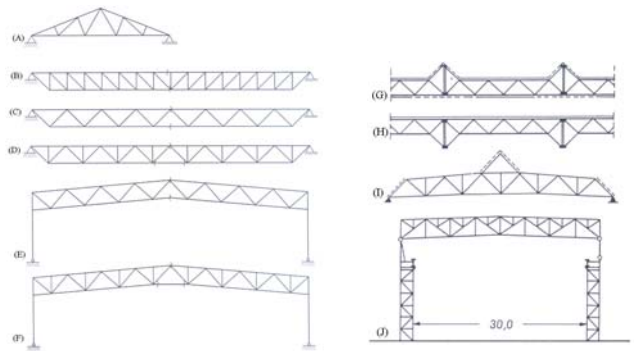
Különbég +331 kg

11. Előadás

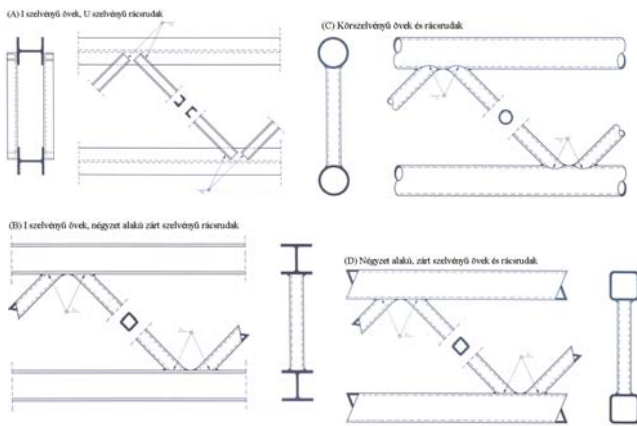
Rácsos tartók tervezésének speciális kérdései (csőszerkezetek)

- Szerkezeti rendszerek
- Keresztmetszetek
- Csomóponti kapcsolatok
- Kísérleti vizsgálatok

Rácsos tartószerkezetek

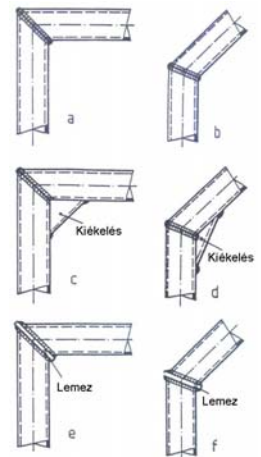
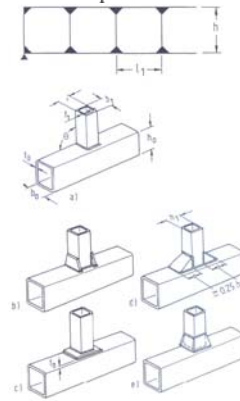


Rácsos tartószerkezetek különböző kialakításai:

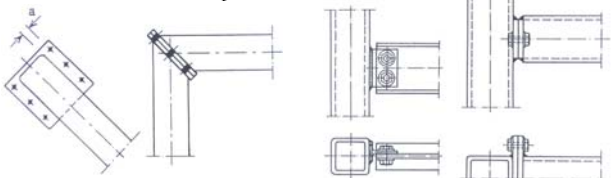


Csőszerkezetű kapcsolatok

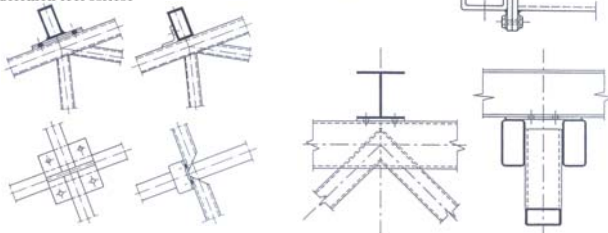
Vierendeel-csomópontok kialakítása



Csavarozott keretsarok csőszelvények esetén



Szelemen leeresztése



Zárt-szelvényű rácsos tartók csomópont-típusai

Zárt szelvényű rácsos tartók kapcsolatai tönkremeneteli típusai
Kör keresztmetszetű zárt szelvényű rudak (CHS) tönkremeneteli módjai

- A tönkremeneteli módok a következők:
 a) az öv felületének vagy keresztmetszetének képlékeny tönkremenetele;
 b) nyomott rácsrudak esetén az öv falának (gerincének) folyása, összenyomódása vagy horpadása;
 c) az öv nyírási tönkremenetele
 d) a rácsrudak kiszakadása az övből repedésképződés hatására;
 e) rácsrudak törése csökként hatékony szélesség miatt (repedések a varratokban vagy a rácsrudakban)
 f) nyomott rácsrudak vagy zárt keresztmetszetű övek horpadása a csomópont környezetében

Tönkremenetel módja	Rúdírányú teher	Hajlítónyomatek
a		
b		

Folytatás: következő oldal

c		
d		
e		
f		

Négyszög keresztmetszetű zárt szelvényű öv- és rácsrudak (RHS) tönkremeneteli módjai

- A tönkremeneteli módok a következők:
 a) az öv felületének vagy keresztmetszetének képlékeny tönkremenetele;
 b) nyomott rácsrudak esetén az öv falának (gerincének) folyása, összenyomódása vagy horpadása;
 c) az öv nyírási tönkremenetele
 d) a rácsrudak kiszakadása az övből repedésképződés hatására;
 e) rácsrudak törése csökként hatékony szélesség miatt (repedések a varratokban vagy a rácsrudakban)
 f) nyomott rácsrudak vagy zárt keresztmetszetű övek horpadása a csomópont környezetében

Tönkremenetel módja	Rúdírányú teher	Hajlítónyomatek
a		
b		

c		
d		
e		
f		

Négyszög vagy kör keresztmetszetű zárt szelvényű rácsrudak (RHS vagy CHS) és melegen hegerelt I és H szelvényű övrudak csomópontjának tönkremeneteli módjai

- A tönkremeneteli módok a következők:
 a) az öv felületének vagy keresztmetszetének képlékeny tönkremenetele;
 b) nyomott rácsrudak esetén az öv falának (gerincének) folyása, összenyomódása vagy horpadása;
 c) az öv nyírási tönkremenetele
 d) a rácsrudak kiszakadása az övből repedésképződés hatására;
 e) rácsrudak törése csökként hatékony szélesség miatt (repedések a varratokban vagy a rácsrudakban)
 f) nyomott rácsrudak vagy zárt keresztmetszetű övek horpadása a csomópont környezetében

Tönkremenetel módja	Rúdírányú teher	Hajlítónyomatek
a		
b		

c		
d		
e		
f		

Négyszög keresztmetszetű zártszelvényű rácsrúd és övrúd hegesztett csomópontjainak tervezési rúdírányú ellenállási [Táblázatok 248. old.]

T,Y és X csomópontok: Az öv felületének tönkremenetele

Y-csomópont

Modell

$$N_i \cdot \sin \Theta_i \cdot \delta = \sum_{i=1}^n l_i \cdot \varphi_i \cdot m_{pi}$$

ahol N_i Normálterő
 Θ_i Csatlakozó rúd szöge
 δ N_i hatására kialakuló deformáció
 l_i i - Folyási vonal hossza
 φ_i i - Folyási vonal elfordulása
 m_{pi} folyási vonal képlékeny nyomatéka
 $m_{pi} = \frac{f_{p0} \cdot t_0^2}{4}$

T,Y és X csomópontok: A rácsrudak kiszakadása [Táblázatok: 249. oldal]

a) b) c)

$$N_1 = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot t_0 \cdot \left[\frac{2b_{h1}}{\sin \Theta_1} + 2 \cdot b_{e,p} \right] \cdot \frac{1}{\sin \Theta_1}$$

T,Y és X csomópontok: A rácsrúd tönkremenetele [Táblázatok: 249. oldal]

$$N_1 = f_{yt} \cdot t_0 (2h - 4t_1 + 2b_{e,p})$$

K és N hézagos csomópontok: Az öv nyírési tönkremenetele (Tábl. 250. old.)

$$V_{pl} = \frac{f_{y0}}{\sqrt{3}} \cdot A_v$$

$$A_v = (2h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}}$$

$$N_{0,exp,ss} \leq (A_0 - A_s) \cdot f_{y0} + A_s \cdot f_{y0} \sqrt{1 - \left(\frac{V_{ss}}{V_{pl}} \right)^2}$$

ahol A_s nyílt felület
 A_0 teljes felület
 V_{pl} képlékeny nyírás ellenállás
 V_{ss} nyíróerő

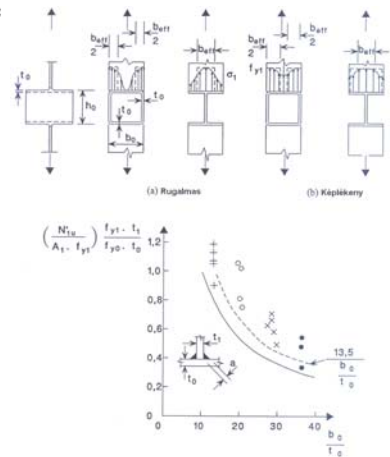
T,Y és X csomópontok: Az öv falának tönkremenetele [Tábl. 249. old.]

$$N_1 = 2f_{y0} \cdot t_0 \cdot \left[\frac{h}{\sin \Theta_1} + 5t_0 \right] \cdot \frac{1}{\sin \Theta_1}$$

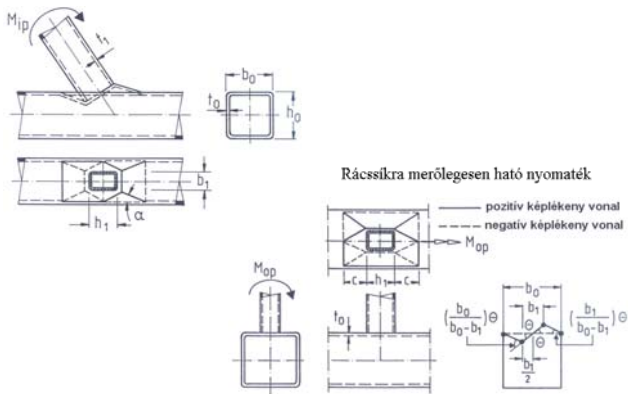
$$N_1 = 2f_s \cdot t_0 \cdot \left[\frac{h}{\sin \Theta_1} + 5t_0 \right] \cdot \frac{1}{\sin \Theta_1}$$

ahol $f_s = f_m$ T és Y csomópontok
 $f_s = 0,8 \cdot f_m \cdot \sin \Theta_1$ X csomópont
 f_m kihajlási feszültség
 $\lambda = 3,46 \left(\frac{h}{t_0} - 2 \right) \sqrt{\frac{1}{\sin \Theta_1}}$

Kísérleti vizsgálatok:



Négyszög keresztmetszetű zárt szelvényű rács-és övrudak (RHS) hegesztett csomópontjainak tervezési nyomatéki ellenállásai
Rácsikkban ható nyomaték



A nyomatéki kapcsolat merevségének hatása négyszög-keresztmetszetű rudaknál [Rautaruukki, 2000] [Táblázatok: 309-312. oldal]

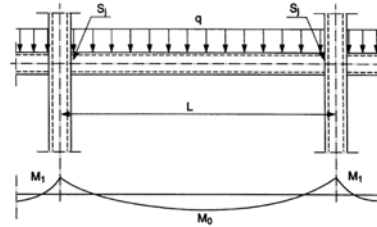
$$M_1 = \left(\frac{c}{c+2}\right) \frac{q \cdot L^2}{12} \quad (\text{támasznyomaték})$$

$$M_0 = \left(\frac{c+6}{c+2}\right) \frac{q \cdot L^2}{24} \quad (\text{mezőnyomaték})$$

ahol:

$$c = \frac{S_1 \cdot L}{E \cdot I}$$

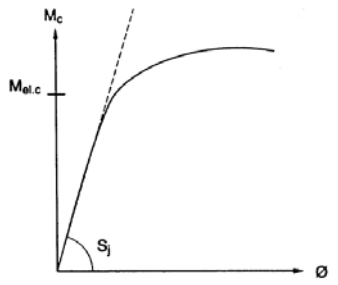
S_1 a csomópont elfordulási merevsége
 L a támasz-keresztmetszetek távolsága
 I a keresztmetszet inercianyomatéka



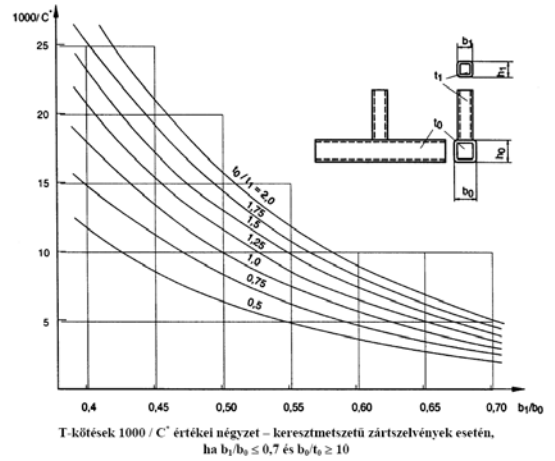
Négyzet- és téglalap keresztmetszetek hegesztett T-kötésének elfordulási merevsége:

$$S_1 = \frac{1000 \cdot C' \cdot t_0^3}{52}$$

ahol:
 S_1 a csomópont elfordulási merevsége (Nm / rad)
 t_0 a zártszelvény falvastagsága (mm)
 C' a következő táblázatokból vehető konstans



Fél-merev kapcsolatok nyomaték-elfordulás görbéje



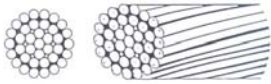
12. Előadás

Kötélszerkezetek tervezésének alapjai

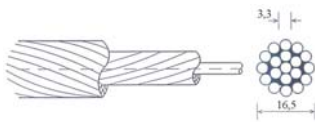
- Kötél viselkedése és vizsgálata
- Szerkezeti rendszerek és részletek

Kötél-kötég:

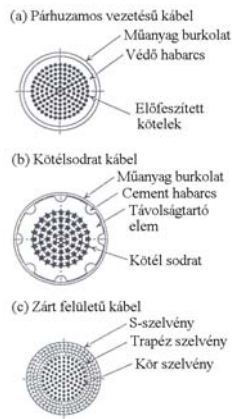
Kötél sodrat [Strand]



Kötél csoport [Rope]

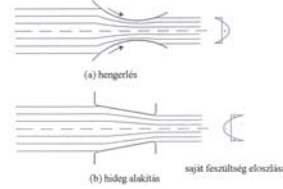


Kábel típusok

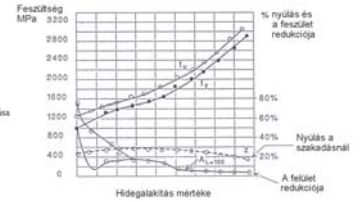


- Kötélszerkezetek speciális követelményei: - a szél hatása
- korrózió
- nem lineáris szerkezeti viselkedés

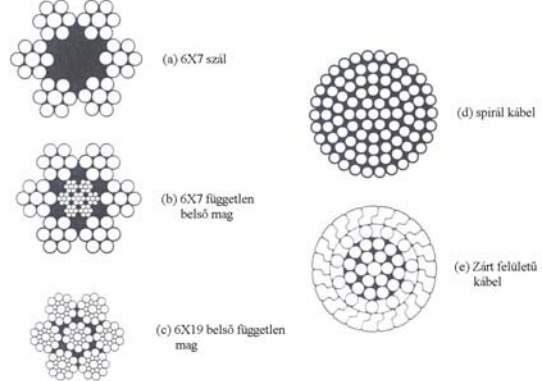
Kábel Elemi kötélzárlat előállítása



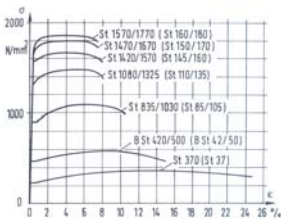
Az acél anyag tulajdonságainak változása a hidegalakítás hatására



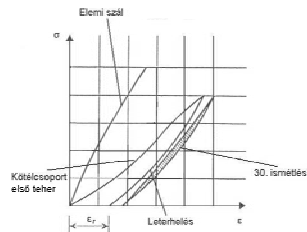
Különböző kötél- és kábel rendszerek



σ - ε diagram



Húzási szakítószilárdság: 1600 - 1800 N/mm²
Elemi kötél σ - ε diagramja ismétlődő terhelés hatására



Rugalmassági modulus értéke:
Párhuzamos vezetési elemi szálak esetén: $E = 200 \text{ N/mm}^2$
Zárt elmelekkel kialakított kötélnél esetén: $E = 160 \text{ N/mm}^2$
Hőágulási együttható: $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$
Strand típusú kötélnél esetén: $E = 150 \text{ N/mm}^2$

Tervezési értékek

Kötélcsoport területe $A_k = f \frac{\pi d^2}{4}$

ahol d a kötélcsoport átmérője

- $f = 0,55$ többszörös kötélcsoport csoport
- $f = 0,75 - 0,77$ nyitott spirális kötélcsoport
- $f = 0,81 - 0,86$ zárt spirális kötélcsoport

A húzási ellenállás egy kötélcsoportra $F = k_s \cdot A_k \cdot f_s$

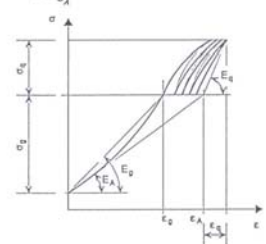
ahol A_k a fém felülete
 f_s szakadási szilárdág egy elemi szála
 k_s tényező

- $k_s = 0,76 - 0,85$ többszörös kötélcsoport csoport
- $k_s = 0,82 - 0,90$ nyitott spirális kötélcsoport
- $k_s = 0,87 - 0,92$ zárt spirális kötélcsoport
- $k_s = 0,93 - 1,0$ párhuzamos kötélcsoport

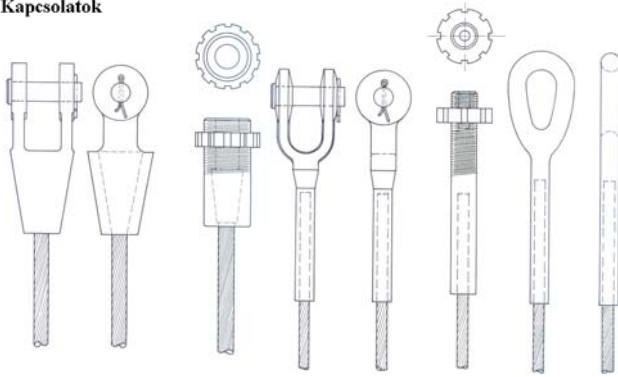
A teljes kötélcsoport húzási ellenállása a lehorganyzás figyelembevételével $F_c = k_a \cdot k_s \cdot A_k \cdot f_s$
ahol k_a 0,80 és 1,0

A tervezés húzási ellenállása $F_{Mh} = F_c / \gamma_M$
ahol γ_M parciális biztonsági tényező

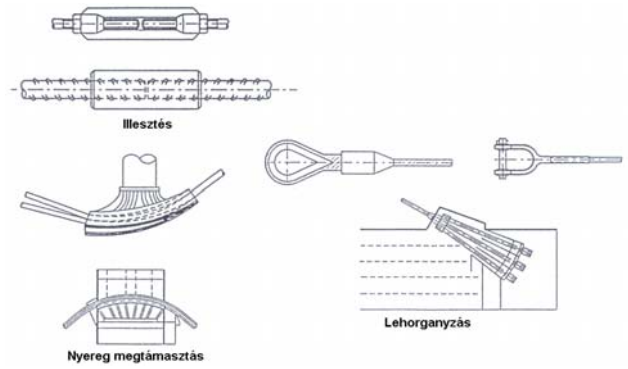
- $E_\epsilon = \frac{\sigma_\epsilon}{\sigma_k}$ Első terhelés
- $E_s = \frac{\sigma_s}{\sigma_k}$ Hasznos terhelés
- $E_A = \frac{\sigma_A}{\sigma_k}$ Teljes terhelés



Kapcsolatok



Kapcsolatok II.



A kábel viselkedése:

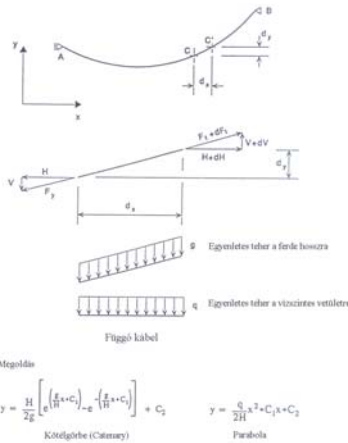
Egyensúly

$$\begin{aligned} \Sigma H = 0 & \quad H - (H + dH) = 0 \rightarrow \\ \Sigma M = 0 & \quad Vd_x - Hd_y = 0 \rightarrow \\ \Sigma V = 0 & \quad V - (V + dV) + g d_x = 0 \\ & \quad \rightarrow V' = g \frac{d_x}{d_x} \end{aligned}$$

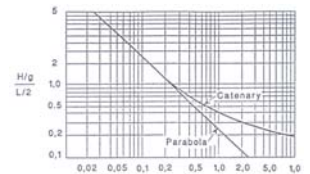
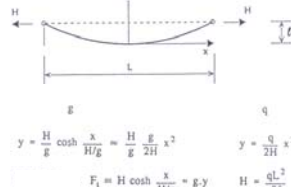
(5), (6), (7) $\rightarrow H_y' = g\sqrt{1 + y'^2}$ (8a)

q

$$\begin{aligned} H &= \text{const} \\ V &= H_y' \rightarrow V' = H_y'' \\ V - (V + dV) + q d_x &= 0 \\ V' &= q \\ H_y'' &= q \end{aligned}$$

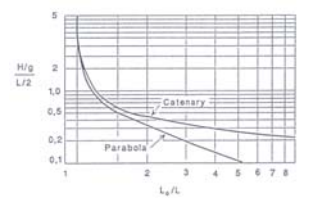


Kerületi feltételek:



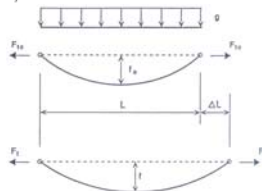
Kábel hossza $L_s = 2 \frac{H}{g} \sinh \frac{L/2}{H/g} = \frac{L}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{g}{H}\right)^2} \frac{H}{g} \operatorname{arcsinh} \left(\frac{g}{H}\right)$

Belégés $f = \frac{H}{g} \left[\cosh \frac{L/2}{H/g} - 1 \right] = \frac{qL^2}{8H}$



Távvezeték esetében két tervezési situáció:

Tél: a kábel önsúlya, jég teher, alacsony hőmérséklet (-5°C)
Nyár: a kábel önsúlya, és magas hőmérséklet (+40°C)



Az első situációban a maximális kábel feszültség ebered.
A második situációban a belégés a mértékadó.
A vizsgálathoz tartozó egyenlet:

$$\frac{\sigma}{E_0} + t + \frac{L^2 \gamma^2}{24\sigma^2} = \text{const}$$

ahol

- σ Feszültség a kábelben
- L Támaszköz
- γ A kábel és a jég önsúlya
- t Hőmérséklet
- E and α Rugalmassági modulus és a hőtágulási együttható

Rugalmassági modulus változása a kötélbefogás elmozdulása miatt

A B ponttól a B' pontra való elmozdulás esetén a kábel erő:

$$F_{B0} = \frac{gL^2}{8f_0}, \quad F_1 = \frac{gL^2}{8f}$$

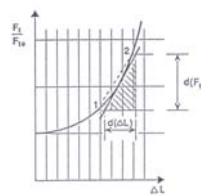
A kábel hossza:

$$L \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_0}{L} \right)^2 \right] = (L + \Delta L) \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{L + \Delta L} \right)^2 \right]$$

A B pont eltolódása:

$$\Delta L = \frac{g^3 L^3}{24} \left[\frac{1}{F_0^2} - \frac{1}{F_1^2} \right]$$

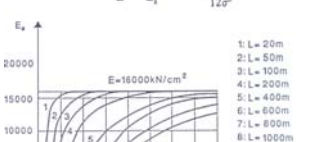
A rugalmassági modulus változása a kötél befogása miatt



Az ekvivalens modulus

$$E_v = \frac{dF}{d\sigma} = \frac{\Delta F / A}{\Delta L / L} = \frac{12\sigma^3}{\gamma^2 L^3}$$

$$E_v = \frac{\sigma}{\epsilon_v + \epsilon_t} = \frac{\sigma}{\frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{E_1}} = \frac{E}{1 + \left(\frac{\gamma L^3}{E}\right)^2}$$



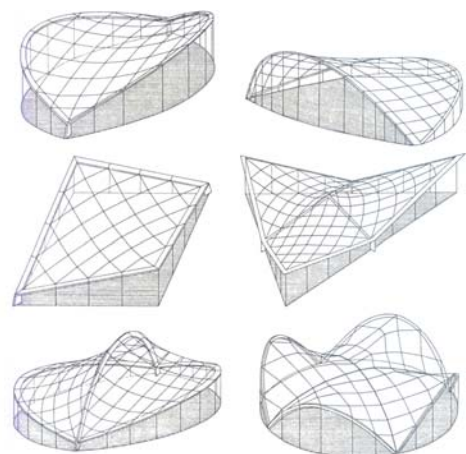
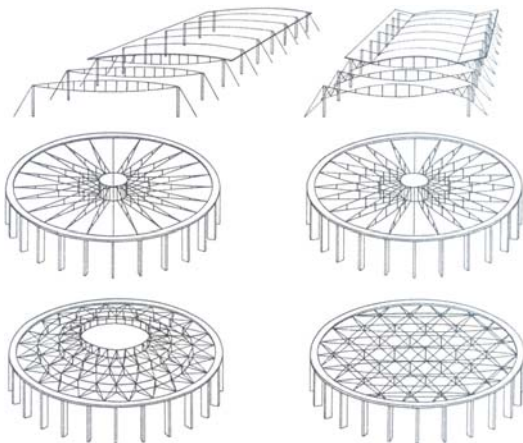
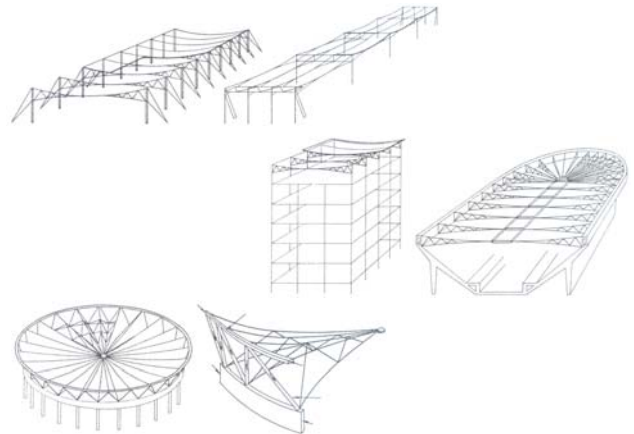
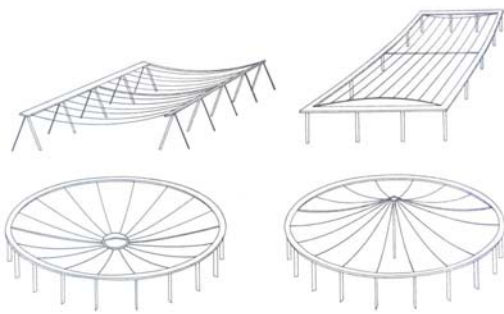
Kötélszerkezetek rendszerei

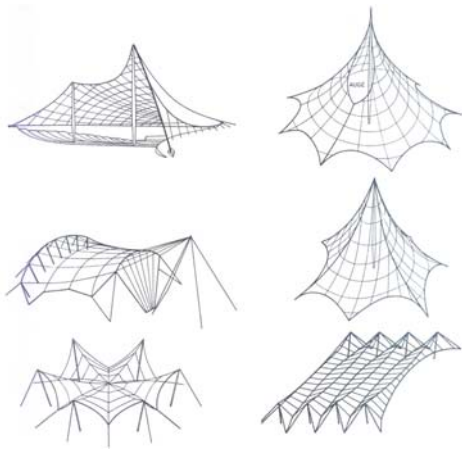
13. Előadás

Kötélszerkezetek vizsgálata

- számítás
- merevítések és burkolatok
- kivitelezés

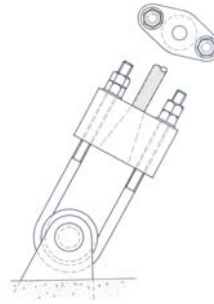
SZERKEZETEK	SÍKBELI	TERBELI
KÖTÉL-STABILIZÁLÁS		
PEREM MEGTÁMASZTÁS-nyitott rendszer		
-zárt rendszer		
KÖZBENŐ MEGTÁMASZTÁS		



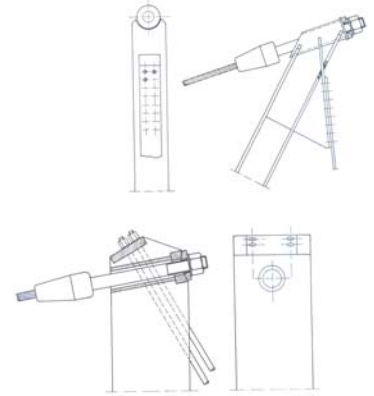


Szerkezeti részletek:

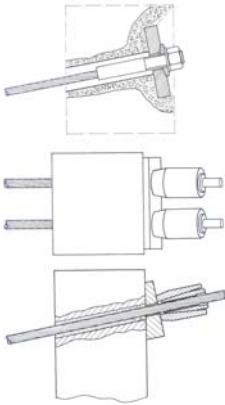
Kötél lehorgonyzás csaphoz



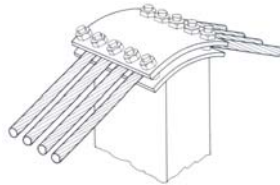
Kötél lehorgonyzás merevítő peremekkel



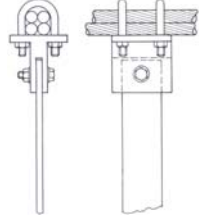
Kötél lehorgonyzó vasbeton szerkezethez



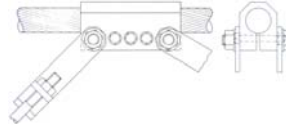
Kötél-csatlakozás oszlophoz



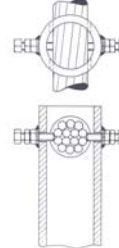
Húzott felkötő rúd bekötése kötelekhez



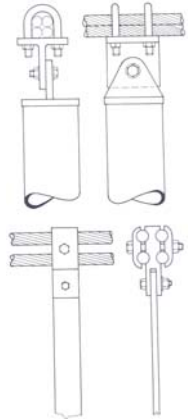
Nyomott rúd bekötése kötelekhez



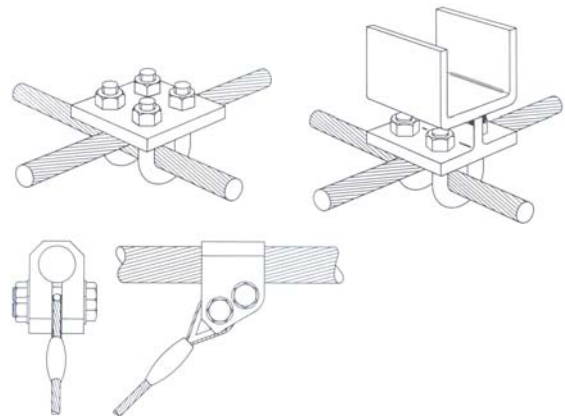
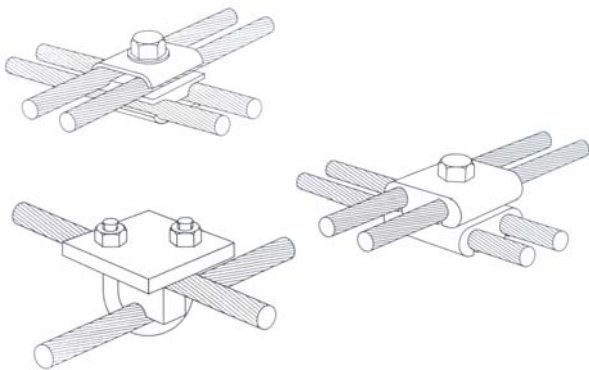
Húzott felkötő rúd bekötése kötelekhez



Rudak csatlakozása kötelekhez

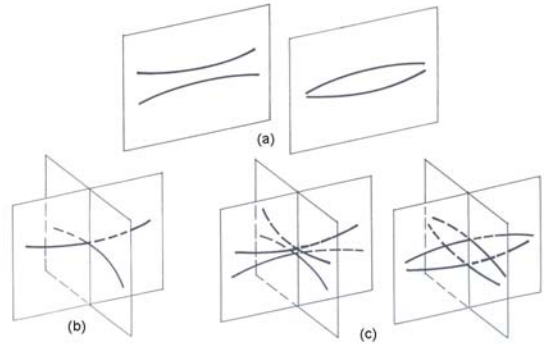


Kötelek csatlakozása kötelekhez

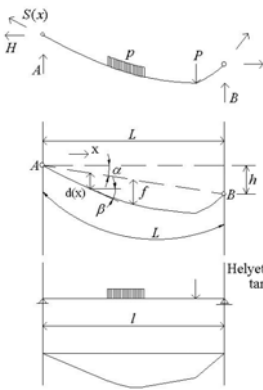


Kötéltartók rendszerei:

- A kötel kezdeti igénybevétele szerint:
 - Szabadkábeles szerkezetek ($N_0=0$)
 - Feszített kábeles szerkezetek ($N_0=P$)
- A kezdeti igénybevétel megvalósítása szerint:
 - Állandó (súly) teherrel feszített
 - Feszítőkábelrel feszített
- Az inverzgörbékét tartalmazó síkok szerint: (feszítőkábelrel feszített szerkezetek esetén)
 - Inverzgörbék azonos síkban (a)
 - Inverzgörbék különböző síkban (b)
 - Vegyes (c)
- Az igénybevétel módja szerint:
 - Síkbeli szerkezetek
 - Térbeli szerkezetek



ELŐTERVEZÉS [Rickenstorf, 1972]



Kötélgeometria:

- $d(x)$ - lehajlás
- f - nyílmagasság
- α - rendszer hajlásszöge
- β - kötel hajlásszöge
- L - kötelhossz
- l - támaszköz

Nyomaték a helyettesítő tartón:

$$M_{(x)} = H \cdot d(x)$$

Vízszintes erő:

$$H = \frac{\max M}{f} = \text{const.}$$

Kötélterő:

$$S = \frac{H}{\cos \beta}$$

Kötélhossz: $L = l \left(1 + \frac{8}{3} \frac{f^2}{l^2} + \frac{H^2}{P} \right)$

Maximális teher: $\max q = g + \max p$

Minimális teher: $\min q = g - \min |p|$

1. Független

Négyzet alaprajz:

$$\text{Eredő erő: } R = q \cdot l \cdot a$$

$$\text{Vízszintes erő: } H = \frac{R \cdot l}{8f}$$

$$\text{Maximális kötélerő: } \max S = \max R \cdot S_1$$

$$\text{A szükséges kötéleresztmetszet: } A_w = \gamma_a \frac{\max S}{f_w}$$

ahol $\gamma_a = 3$ biztonsági tényező a kötel szakadási szilárdságnál
lásd ábra

Kör alaprajz:

$$\text{Eredő erő: } R = q \cdot l \cdot \frac{a}{\sqrt{3}}$$

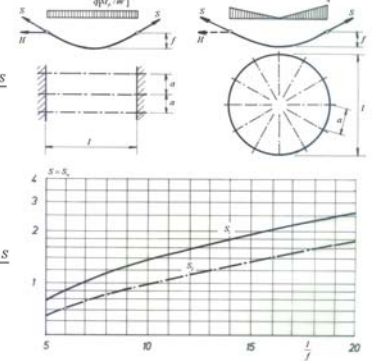
$$\text{Vízszintes erő: } H = \frac{R \cdot l}{12f}$$

$$\text{Maximális kötélerő: } \max S = \max R \cdot S_2$$

$$\text{A szükséges kötéleresztmetszet: } A_w = \gamma_a \frac{\max S}{f_w}$$

ahol S_2 a kötel közép lehajlása
lásd ábra

$$w_a = \left(\frac{16}{3} \frac{f^2}{F} + \frac{H_w}{E \cdot A} \right) \frac{H_w \cdot f}{E \cdot A}$$



2. Feszített kötéltető

$$q = 0,075 M_p / m \quad (g + \text{teljes hó}) \quad [q: 25 \text{ gnd}]$$

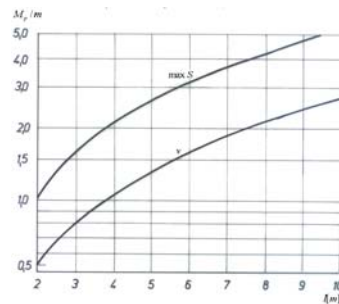
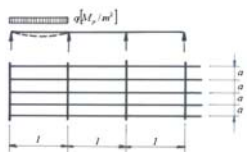
$$l = 2 \dots 10 m, \quad \max w = \frac{1}{50} l$$

$$f_w = 150 \text{ kp/mm}^2 \quad (\text{acél szakítószilárdság})$$

Szükséges kötéleresztmetszet:

$$A_w = \frac{a}{5} \max S [cm^2]$$

$\max S [M_p / m]$ az $l [m]$ függvényében, lásd ábra:



3. "Rácsos" és "létrás" kötélfőtartó

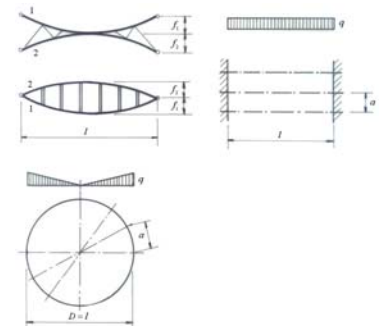
$$\varphi = \frac{F_2}{F_1} = \frac{\min q}{\max q}$$

$$\rho = \frac{f_2}{f_1} = \frac{H_{10}}{H_{20}} = 1$$

Erőeloszlási tényező:

$$\kappa_1 = \frac{1}{1 + \varphi}; \quad \kappa_2 = 1 - \kappa_1$$

$$\text{Görbület: } k = \frac{8f_1}{l^2} = \frac{8f_2}{l^2}$$



Négyszög alaprajz:

$$\max R = \max q \cdot l \cdot a; \quad \max H_1 = \frac{\max R \cdot l}{8f_1}$$

$$\max S_1 = \max R \cdot S_1; \quad S_1 \text{ az ábrából}$$

$$A_{z1} = \gamma_B \frac{\max S_1}{f_u}; \quad A_{z2} = \varphi \cdot A_{z1}$$

$$\max W_n \approx 1,6 \frac{K_1 \cdot \max H_1}{k \cdot E \cdot A_1}$$

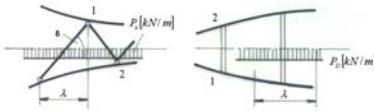
Kör alaprajz:

$$\max R = \max q \cdot l \cdot \frac{a^2}{2}; \quad \max H_1 = \frac{\max R \cdot l}{12f_1^2}$$

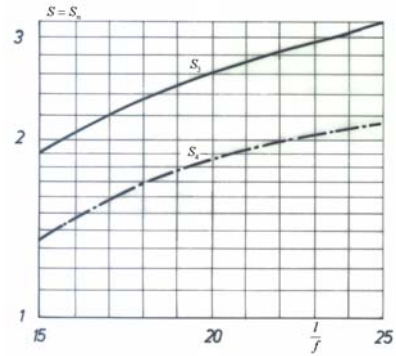
$$\max S_1 = m \cdot R \cdot S_1; \quad S_1 \text{ az ábrából}$$

$$A_{z1} = \gamma_B \frac{\max S_1}{f_u}; \quad A_{z2} = \varphi \cdot A_{z1}$$

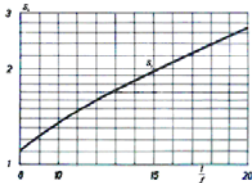
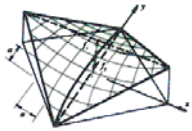
$$\max W_n \approx 0,55 \frac{K_1 \cdot \max H_1}{k \cdot E \cdot A_1}$$



Megjegyzés:
 "rácsos" kötél: $\max Z = \frac{K_1 \cdot \max q \cdot a \cdot \lambda}{\cos \theta}$
 $A_{z1} = \frac{\max Z}{f_u}$
 "létras" kötél: $\max D = -\kappa_1 \cdot \max q \cdot a \cdot l$
 $A_{z2} = \frac{\omega \cdot \max D}{f_u}$
 ω - kihagyási tényező, 3 és 5 közötti érték.



4. Kötélháló merev peremeken



$$\varphi = \frac{F_x}{F_y} = \frac{\min q}{\max q}$$

$$\rho = \frac{H_{y0}}{H_{x0}} = \frac{k_y}{k_x} = 1$$

$$\text{Görcsület: } k = \frac{8f_x}{l_x^2} = \frac{8f_y}{l_y^2}$$

$$\rightarrow f_x = f_y \cdot \frac{l_x}{l_y}$$

$$\text{Erőeloszlási tényező: } \kappa_x = \frac{1}{1+\varphi}; \quad \kappa_y = 1 - \kappa_x$$

$$\max R_x = \max q \cdot l_x \cdot a; \quad \max H_x = \frac{\max R_x}{k_x \cdot l_x}$$

$$\max S_x = \max R_x \cdot S_x; \quad S_x \text{ az ábrából.}$$

$$A_{z,x} = \gamma_B \frac{\max S_x}{f_u}; \quad A_{z,y} = \varphi \cdot A_{z,x}$$

$$W_n = (1,15 \dots 1,35) \frac{K_1 \cdot \max H_x}{k \cdot E \cdot A_{z,x}}$$

5. Kötélháló kőtélperemeken

$$\varphi = \frac{F_x}{F_y} = \frac{\min q}{\max q}$$

$$\rho = \frac{H_{y0}}{H_{x0}} = \frac{k_y}{k_x} = 1$$

$$k = \frac{16f_x}{l_x^2} = \frac{16f_y}{l_y^2}; \quad f_x = f_y \cdot \frac{l_x}{l_y}$$

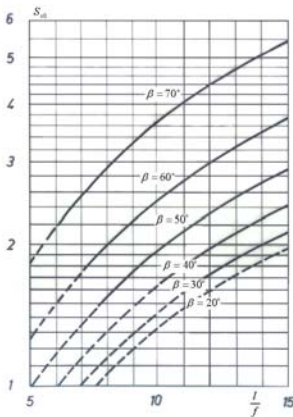
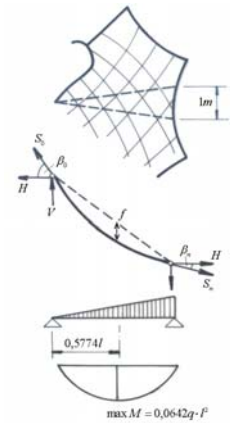
$$\kappa_x = \frac{1}{1+\varphi}; \quad \kappa_y = 1 - \kappa_x$$

$$\max R_x = \max q \cdot l_x \cdot \frac{a}{2}; \quad \max H_x = \frac{2 \max R_x}{k \cdot l_x}$$

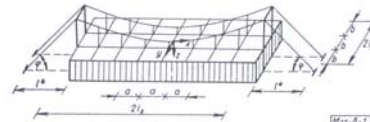
$$\max S_x = \max R_x \cdot S_x; \quad S_x \text{ az ábrából}$$

$$A_{z,x} = \gamma_B \frac{\max S_x}{f_u}; \quad A_{z,y} = \varphi \cdot A_{z,x}$$

$$W_n = (1,15 \dots 1,35) \frac{K_1 \cdot \max H_x}{k \cdot E \cdot A_{z,x}}$$



Tartórúccsal merevített függőtartók [Roller, 1965]



A kábelek alakja az állandó teher hatására:

$$z = f \left(1 - \frac{x^2}{l^2} \right)$$

$$f = \frac{p \cdot b^2 l^2}{2H_x}$$

A mestergerendékát fix, de nem befogott szélsős- és süllyedő közbelső alátámasztásokkal rendelkező folytatódagos tartóknak tekintjük.

$$q'' = 1,1 p \cdot b \cdot \frac{6 E_x J_x}{5 a b^3} w - q'$$

A fiókgerendák folytonos ágazású tartók.

$$E_x J_x w'' = -q'$$

Az állandó teherrel és a lepelérőkkel megterhelt kábelek deformált alakjának differenciálegyenlete

$$H(z+w)'' = -(p \cdot b + q')$$

Figyelembe véve, hogy

$$z'' = -\frac{2f}{l^2} \quad H_x z'' = -p \cdot b$$

$$w'' = -\frac{H}{E_x J_x} w'' + \frac{6 E_x J_x}{5 a b^3} w =$$

$$= \frac{1}{E_x J_x} \left[1,1 p \cdot b - \frac{2f}{l^2} (H - H_x) \right]$$

Ha a fiókgerendák szabadon támaszkodó végűek:

$$w(l_i) = w(-l_i) = 0$$

$$w'(l_i) = w'(-l_i) = 0$$

Ha pedig befogottak:

$$w(l_i) = w(-l_i) = 0$$

$$w'(l_i) = w'(-l_i) = 0$$

Kompatibilitási egyenlet:

$$l_i \left(1 + 2 \frac{f^2}{f_i^2} \right) + \frac{f_i}{\cos^2 \varphi} = l_{(o)}$$

$$l_i \left(1 + \frac{4}{3} \frac{f^2}{f_i^2} \right) + \frac{f_i}{\cos^2 \varphi} = l_{(o)}$$

$$\frac{2f}{\alpha_i J_i l_{(o)}} = \vartheta \quad \frac{l_{(o)}}{\alpha_i E_i F_i l_{(o)}} = \chi \quad \frac{2E_i F_i f}{F_i l_{(o)}} = \omega$$

$$\frac{\vartheta}{2} \int_{-l_i}^{l_i} w(x) dx - \chi(H - H_a) = f$$

$$H = H_a + \frac{\omega}{2} \int_{-l_i}^{l_i} w(x) dx$$

$$\frac{H}{E_i J_i} = 2A \quad \frac{6 E_i J_i}{5ab^3 E_i J_i} = B$$

$$1, 1, p, b - \frac{2f}{f_i^2} (H - H_a) = p_i$$

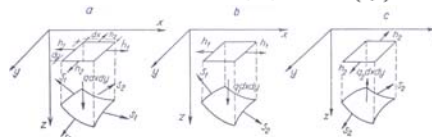
Differenciálegyenlet:

$$W'''' - 2AW'' + BW = \hat{P}_i$$

- Zárt alakú megoldások [Roller, 1965]
- Schardt-Okur DE megoldás [Iványi, 1998]

Függesztett tetőszervezetek [Halász, Roller, Vértés 1960]
(Elsőrendű elmélet alapján)

A felületet "lankásnak" képzeljük: $\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \ll 1$ $\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \ll 1$



A felületemre jutó terhelőerő felbontása:

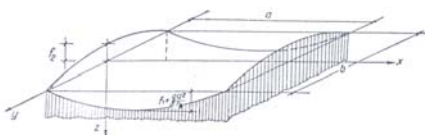
$$q dx dy = q_1 dx dy + q_2 dx dy$$

Kötélgörbe DE:

$$h_1(y) \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = -q_1 \quad h_2(x) \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = -q_2$$

A z tengelyre felírt vetületi egyenlet: $h_1(y) \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + h_2(x) \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} = -q(x, y)$

A tetőfelület alaprajza derékszögű négyszög



Könnyen kezelhető megoldás kapható, ha:

$$h_1(y) = h_1 = \text{const.}$$

$$h_2(x) = h_2 = \text{const.}$$

$$q(x, y) = q = \text{const.}$$

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \\ x = a \end{array} \right\} F = -f_2 \sin \frac{\pi}{b} \left(\frac{b}{2} - y \right)$$

$$\left. \begin{array}{l} y = b/2 \\ y = -b/2 \end{array} \right\} F = f_1 \sin \frac{\pi}{a} x + \frac{q}{2h_1} (ax - x^2)$$

A DE megoldása a kerületi feltételekkel

$$F(x, y) = k_1 \operatorname{ch} \frac{\pi m}{a} y \sin \frac{\pi}{a} x +$$

$$+ k_2 \operatorname{ch} \frac{\pi}{bm} \left(x - \frac{a}{2} \right) \sin \frac{\pi}{b} \left(\frac{b}{2} - y \right) +$$

$$+ \frac{q}{2h_1} x - \frac{q}{2h_1} x^2$$

$$\text{Jelenleg: } m = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

$$k_1 = \frac{f_1}{ch \frac{\pi bm}{2a}} \quad k_2 = \frac{f_2}{ch \frac{\pi a}{2bm}}$$

A DE speciális kerületi feltételek és állandó h erőintenzitás esetén:

$$F = Ax^2 - By^2$$

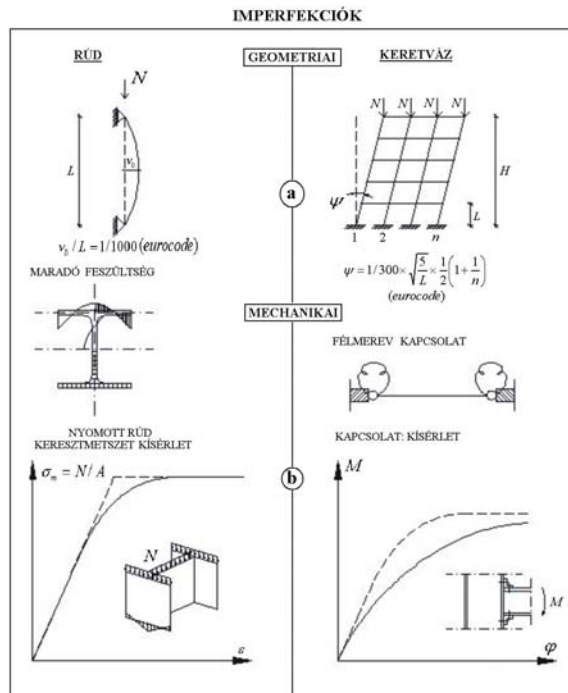
egyenlettel megadott hiperbolikus paraboloid megoldás:

$$2Ah_1 - 2Bh_2 = -q$$

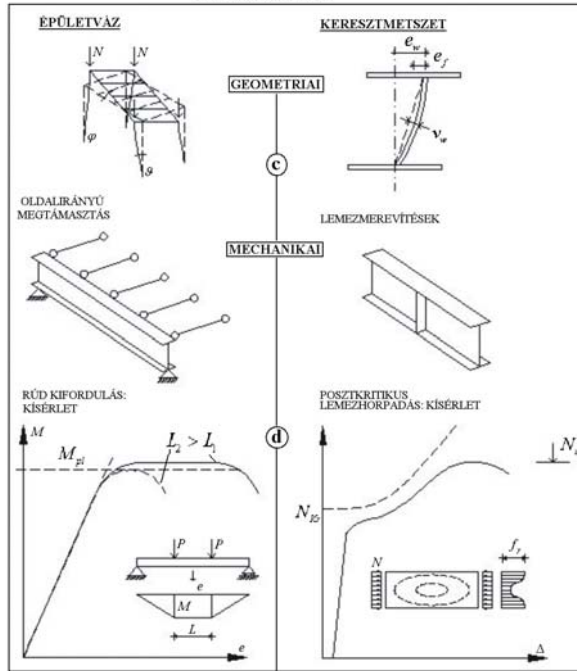
Másodrendű elmélet alapján: [Roller 1962]

14. Előadás

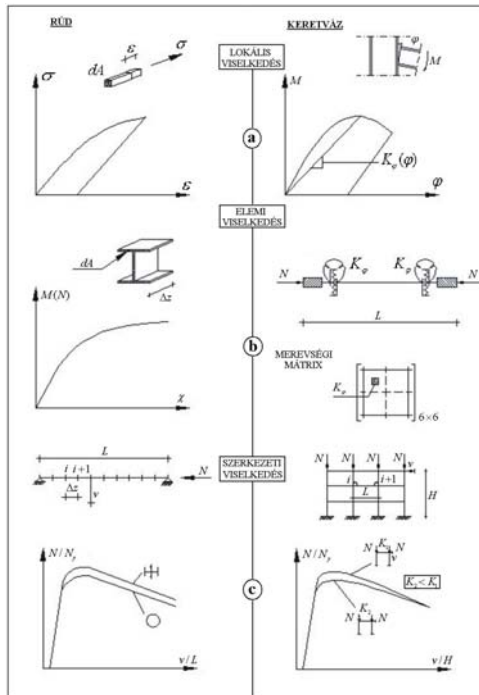
Korszerű méretezéselmélet elvi és gyakorlati kérdései



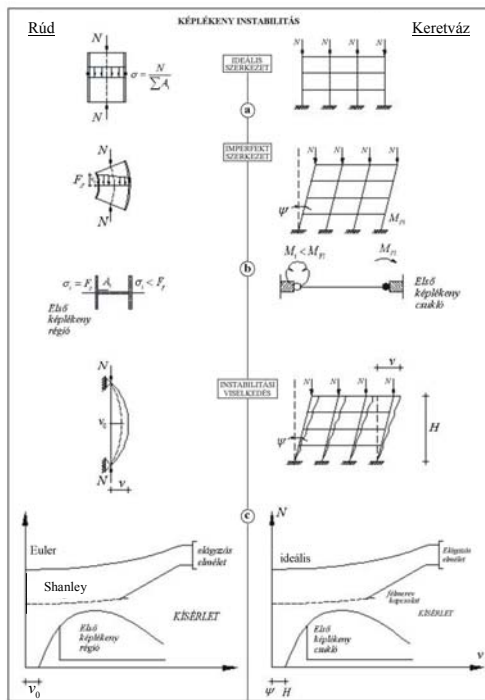
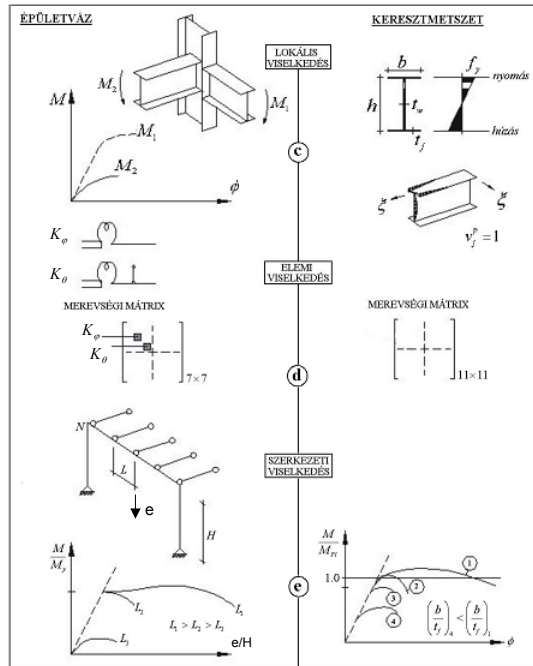
IMPERFEKCIÓK

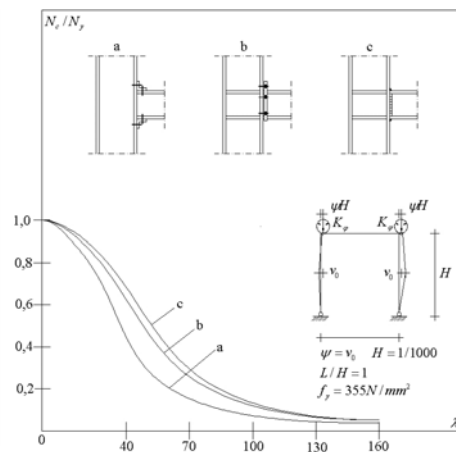
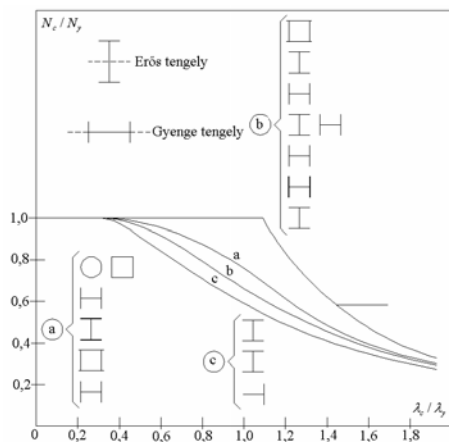
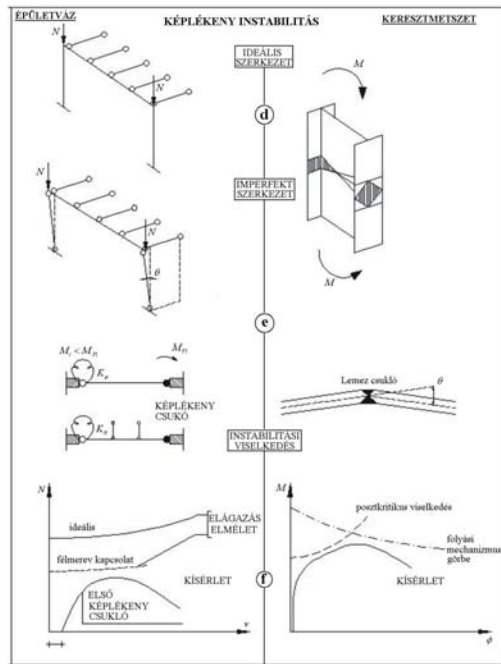


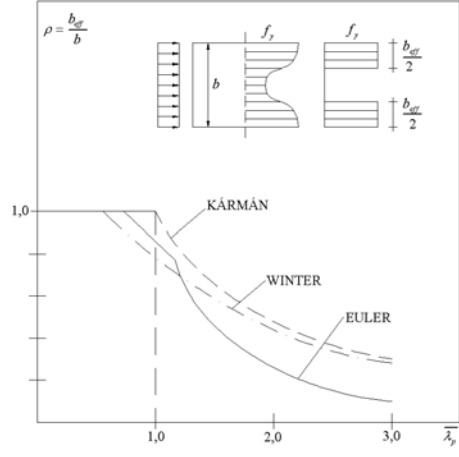
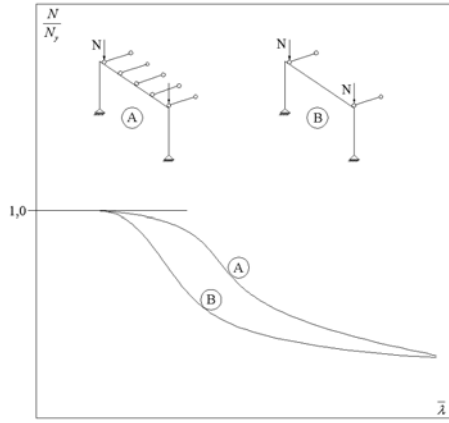
SZIMULÁCIÓK



SZIMULÁCIÓK







Irodalomjegyzék

Az összeállítás az ERFP-DD2002-HU-B-01 (PTE, Pollack Mihály Műszaki Kar) szerződés számú projekt anyagai alapján készült.

Az összeállítás a következő könyvek egyes fejezetek felhasználásával készült.

Iványi M. magyar koordinátor: Acélszerkezetek tervezése az Eurocode 3 szerint.

Oktatási csomag, Műegyetemi kiadó, 2000.

Halász O. – Iványi M.: Stabilitáselmélet Akadémiai Kiadó, 2001.