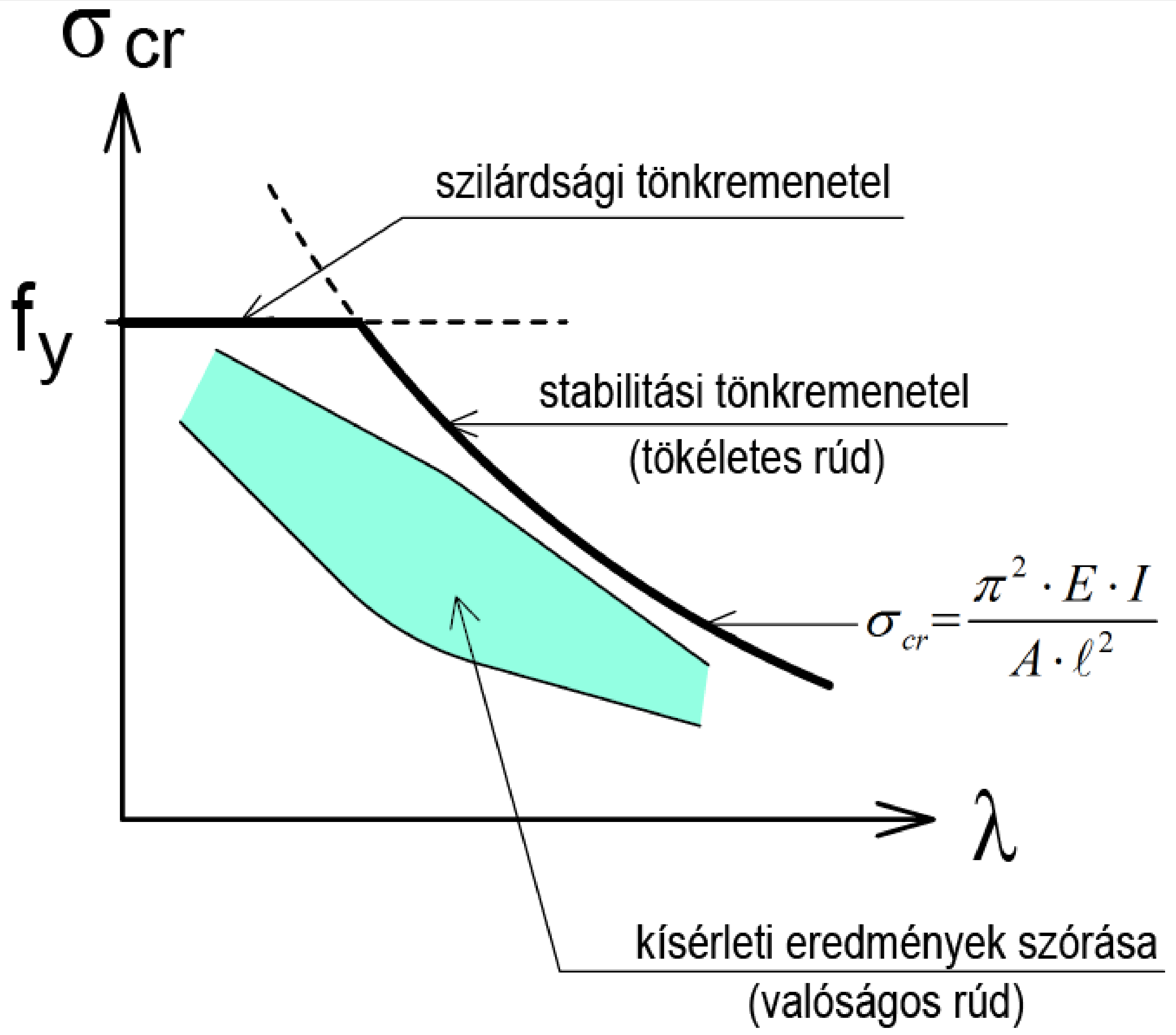
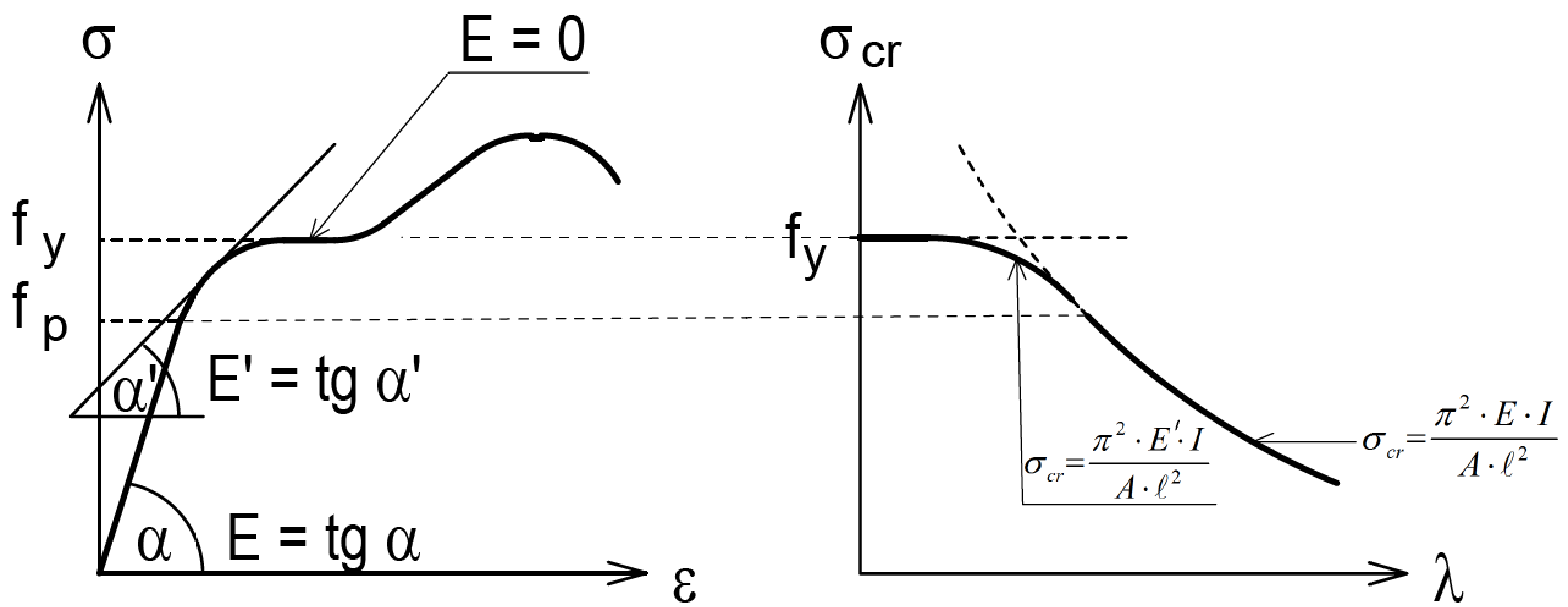
5. ELŐADÁS

Az ábrák forrása:

[1] Dr. Németh György: Tartószerkezetek III., Acélszerkezetek méretezésének alapjai
[2] Halász Ottó - Platthy Pál: Acélszerkezetek
[3] Ádány Sándor - Dulácska Endre – Dunai László – Fernezelyi Sándor – Horváth László: Acélszerkezetek, 1. Általános eljárások, Tervezés az Eurocode alapján
[4] Dr. Csellár Ödön – Szépe Ferenc: Táblázatok acélszerkezetek méretezéséhez

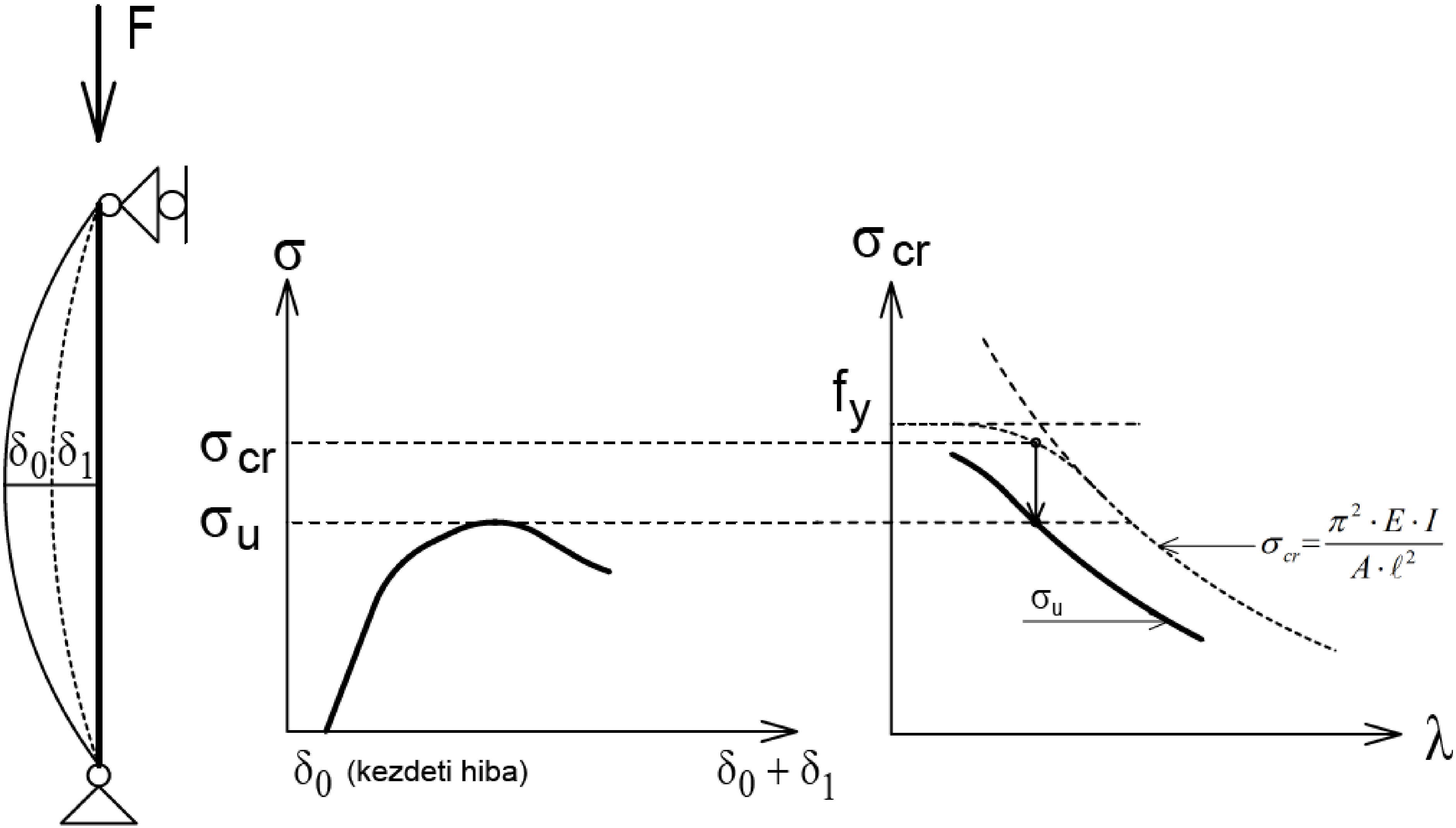
Nyomott rudak vizsgálatánál a kísérleti eredmények szórása





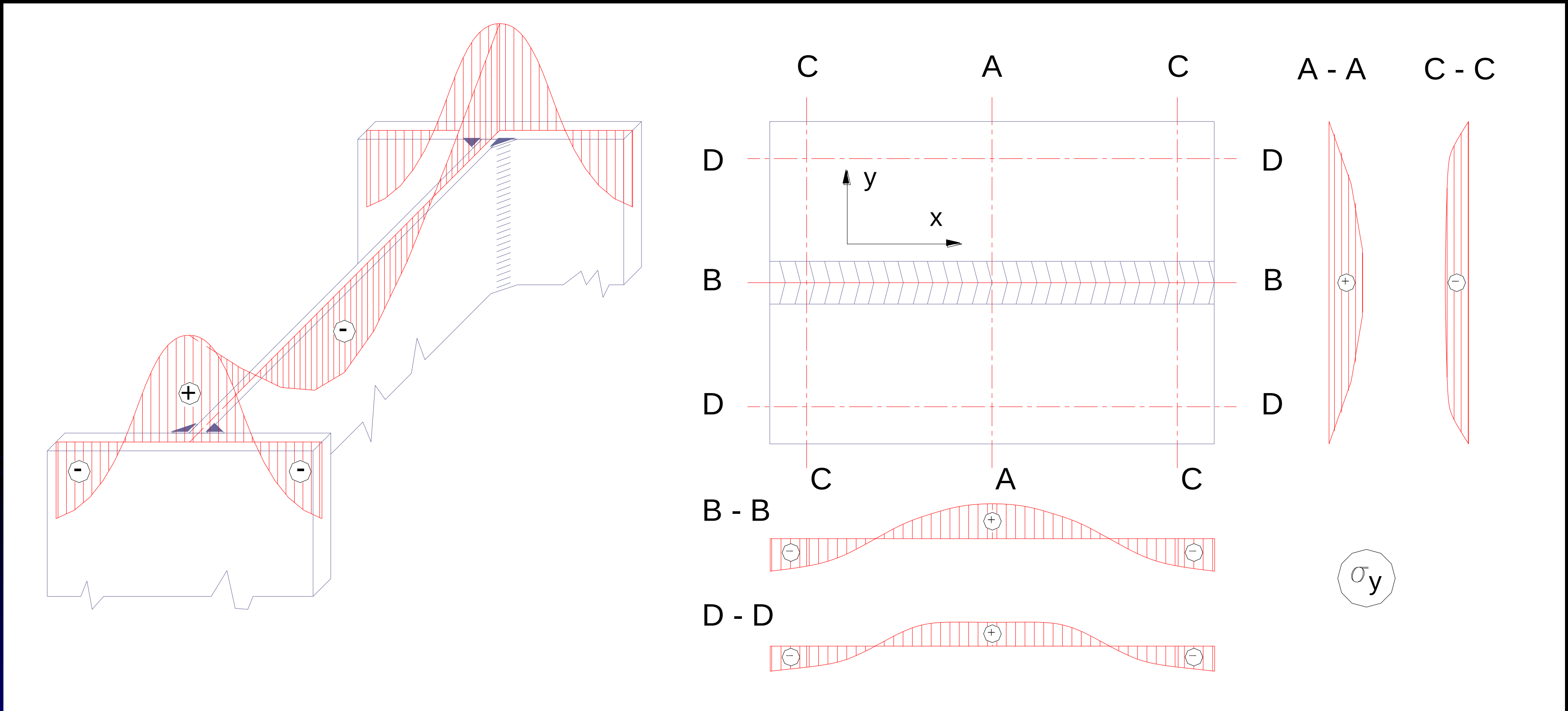
E → E'

Az anyagmodell hatása



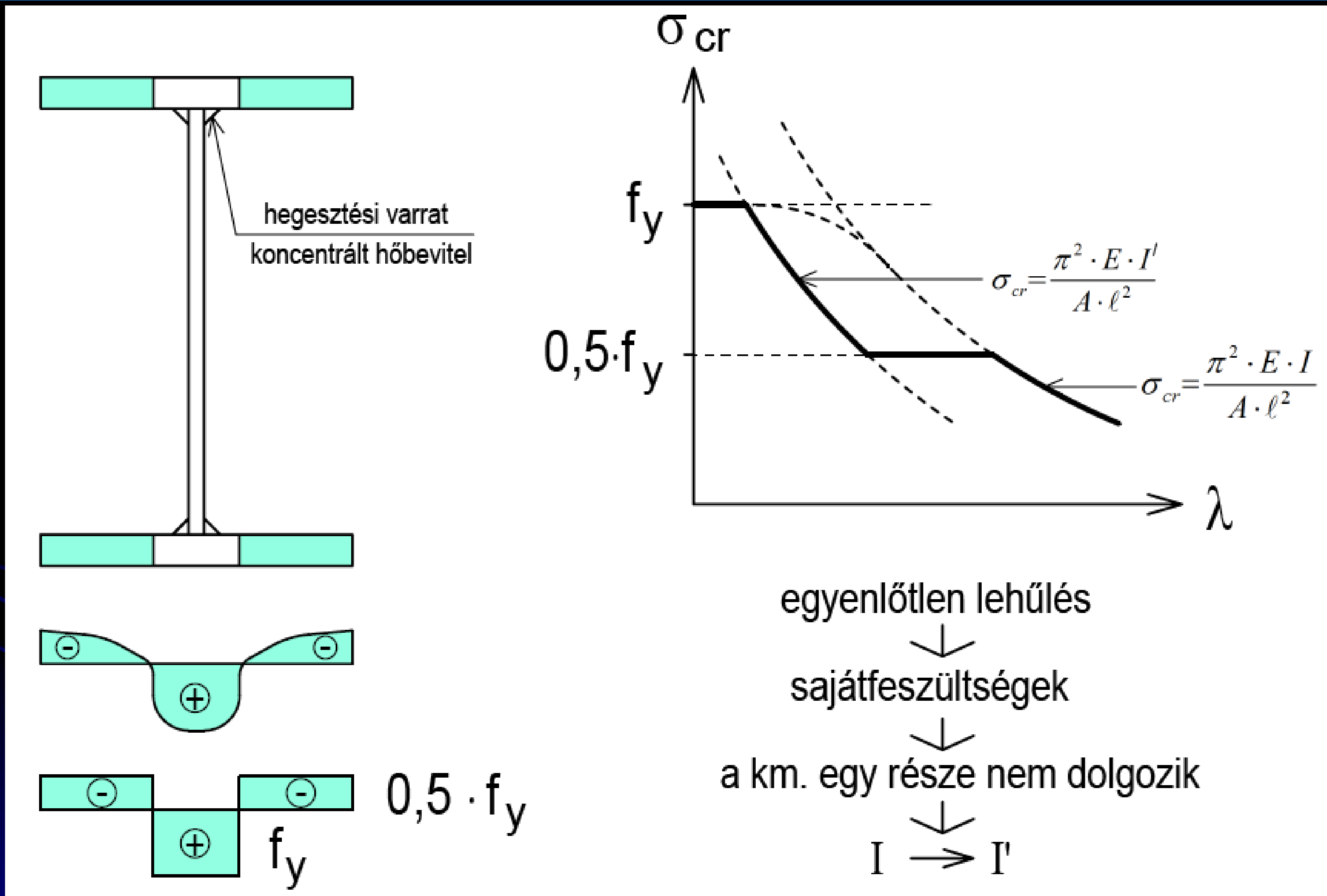
A külpontosság hatása

SAJÁTFESZÜLTSÉGEK



Gyártási sajátfeszültségek hegesztett elemekben [1]

- az elemek terheletlen állapotban sem feszültségmentesek
- ok: egyenetlen lehűlés



$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I'}{A \cdot \ell^2}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{A \cdot \ell^2}$$

A sajátfeszültségek hatása

Euler karcsúság: annak a (képzeletbeli) rúdnak a karcsúsága, amelynek az EULER-féle kihajlási kritikus feszültsége a folyáshatárral megegyezik

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

$$\Downarrow$$

$$f_y = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_1^2} \quad \Rightarrow \quad \lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Központosan nyomott rudak kihajlási ellenállása:

- 1., 2. és 3. km.-i o. esetén:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

- 4. km.-i osztály esetén:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

- más jelöléssel:

$$\beta_A = 1$$ (1., 2., 3. km.-i o.)

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \beta_A \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

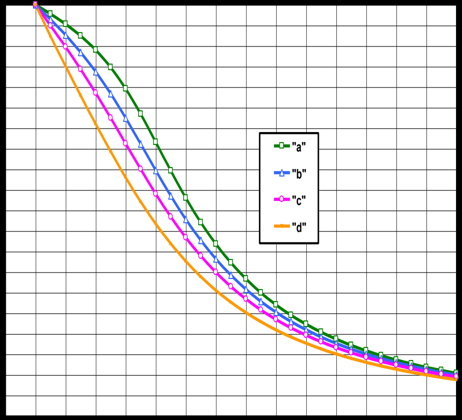
$$\beta_A = \frac{A_{eff}}{A}$$ (4. km.-i o.)

A χ csökkentő tényező:

- értéke a redukált (viszonyított) karcsúságtól függ

$$\chi = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

de $\chi \leq 1$



ahol: $$\varphi = \frac{1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2}{2}$$ (segédmennyiség)

α: alakhiba tényező

kihajlási görbe	„a”	„b”	„c”	„d”
α	0,21	0,34	0,49	0,76

A redukált karcsúság

1., 2. és 3. km.-i o. esetén:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

4. km.-i o. esetén:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}$$

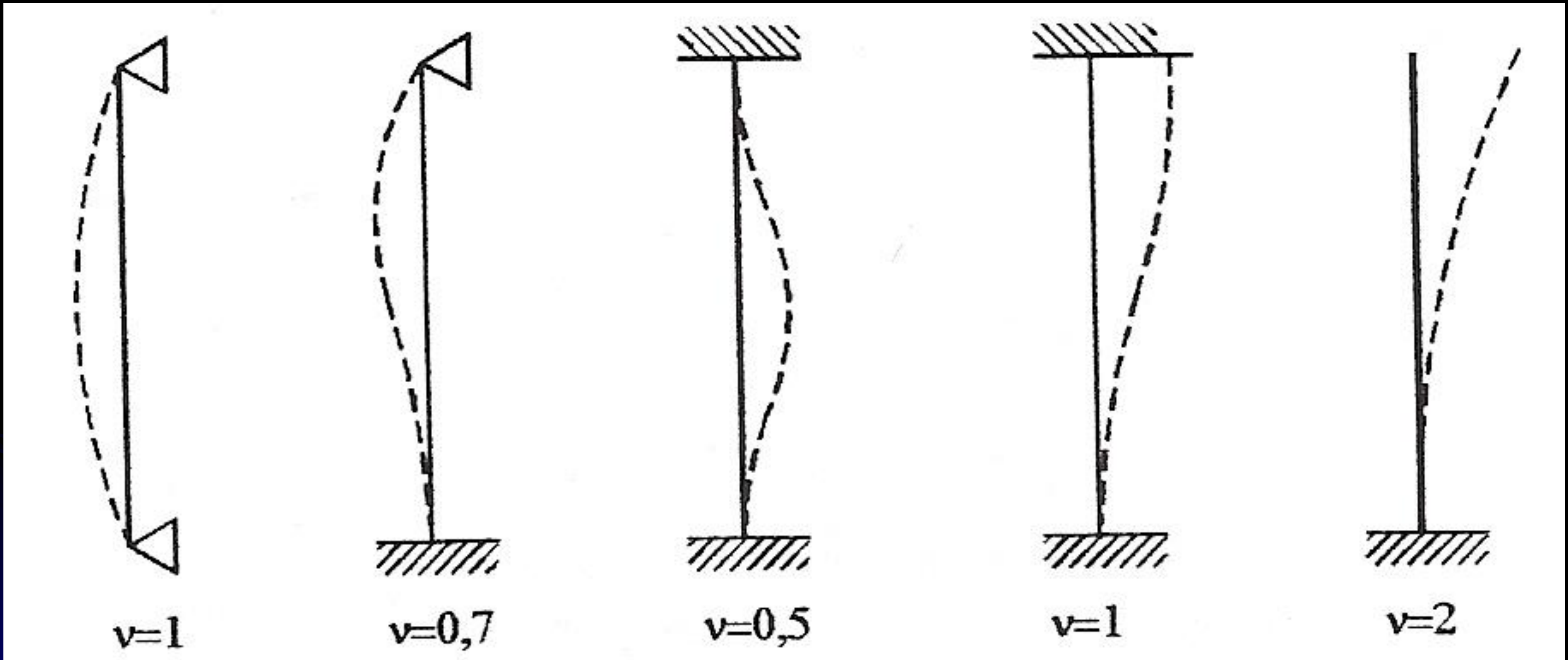
A kihajlás síkjában számított karcsúság:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

ahol:

$$L_{cr} = \nu \cdot L$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$



A ν befogási tényező a legegyszerűbb megtámasztási viszonyok esetén [4.]

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9 \cdot \varepsilon$$

ahol:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Az Euler-féle kritikus erő:

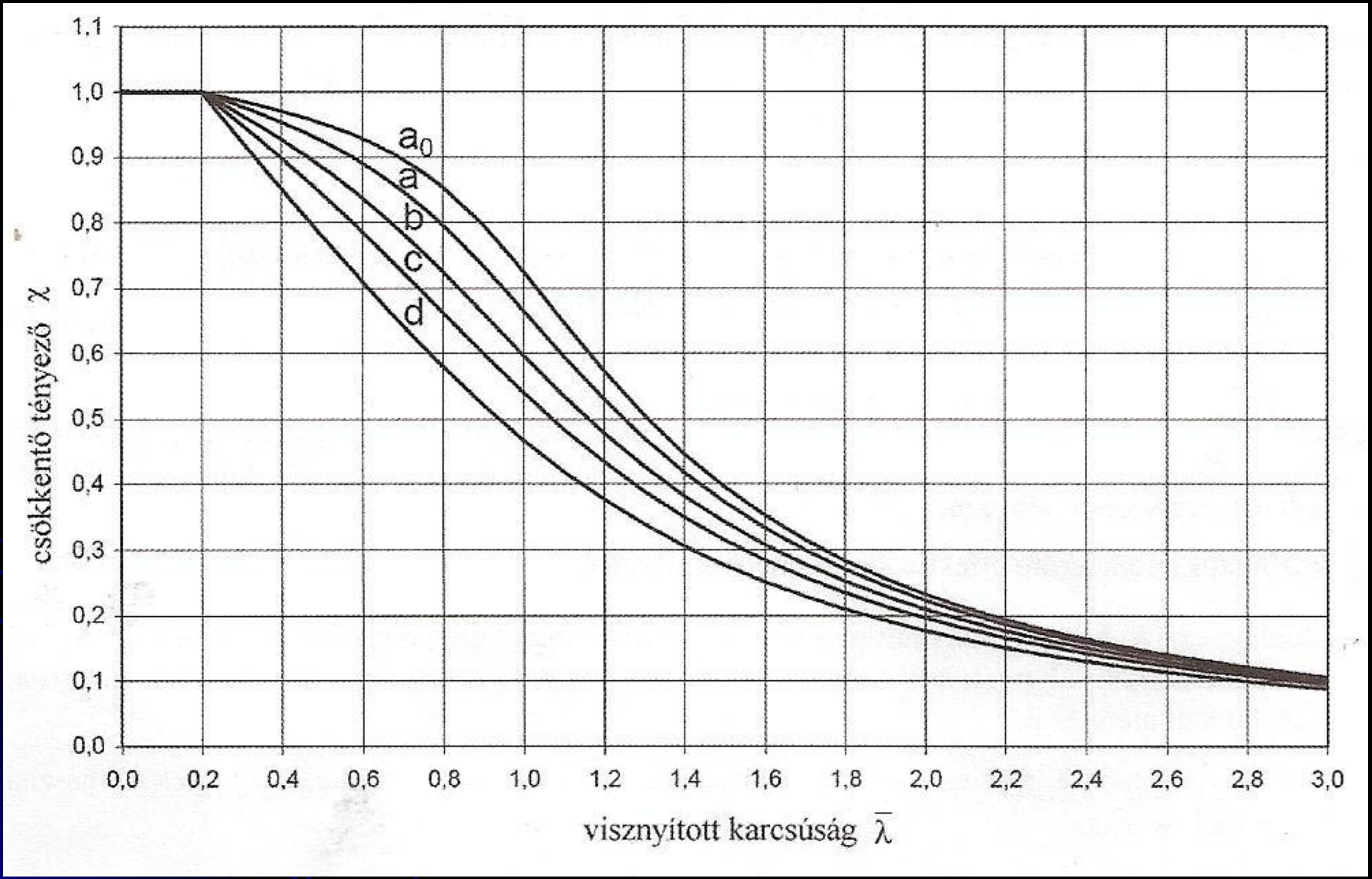
$$N_{cr} = A \cdot \sigma_{cr} = A \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

A kihajlásvizsgálat nem mértékadó, ha:

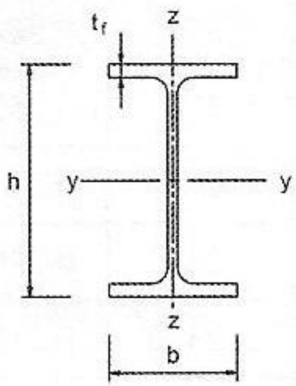
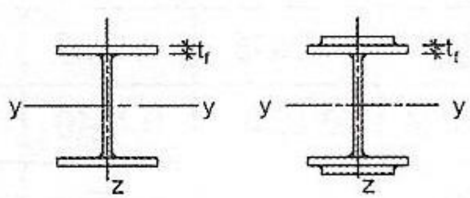
$$\bar{\lambda} \le 0{,}2$$

vagy

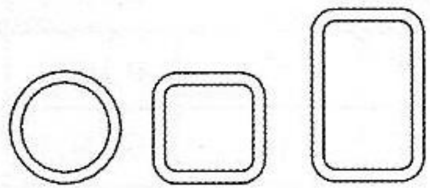
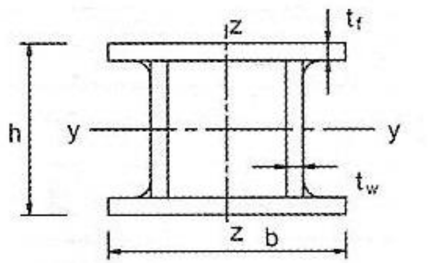
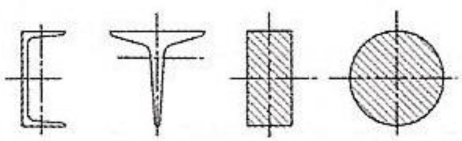
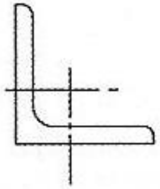
$$\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \le 0{,}04$$



A kihajlási görbék [3.]

Keresztmetszet típusa		Eset	(a): S235-S420 (b):S460	Kihajlás tengelye	Csoport (a)	Csoport (b)
Hengerelt I szelvény	 	$h/b > 1{,}2$	$t_f \le 40$ mm	y z	a b	a_0 a_0
			40 mm $< t_f \le 100$ mm	y z	b c	a a
		$h/b \le 1{,}2$	$t_f \le 100$ mm	y z	b c	a a
			100 mm $< t_f$	y z	d d	c c
Hegesztett I szelvény		$t_f \le 40$ mm		y z	b c	b c
		40 mm $< t_f$		y z	c d	c d

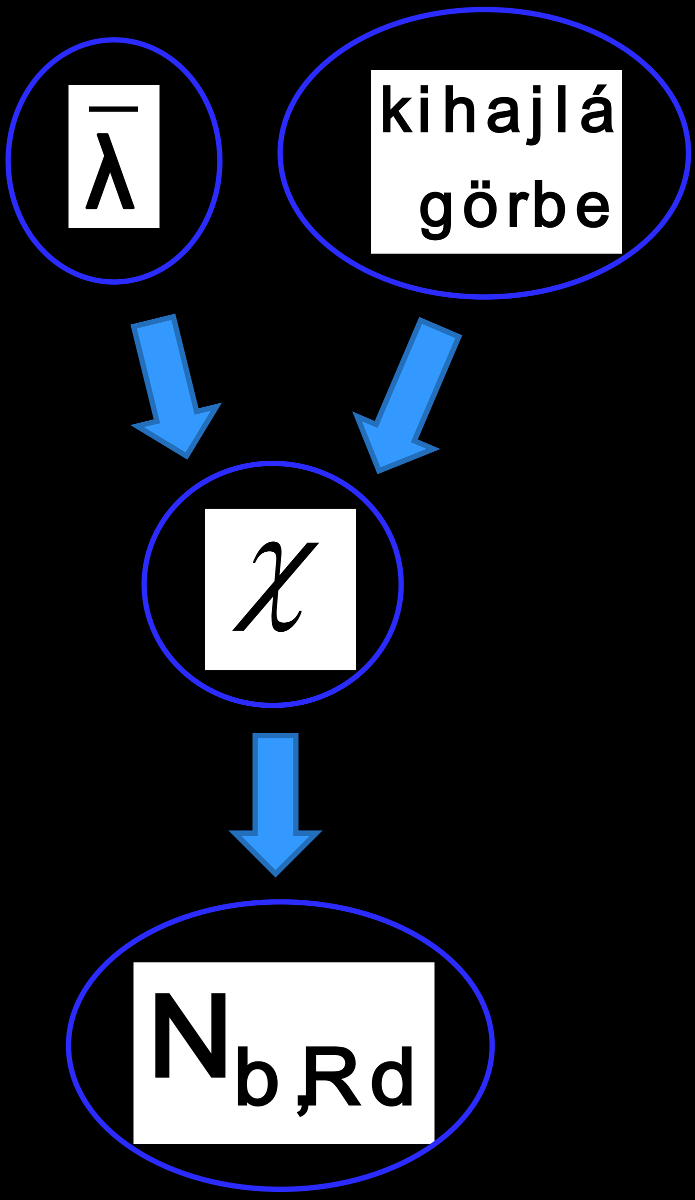
A kihajlási görbék kiválasztása 1. [3.]

Zárt szelvényű idomacél		melegen hengerelt	bármely	a	a_0
		hidegen alakított	bármely	c	c
Hegesztett zárt szelvény		általában	bármely	b	b
		erős varratok ($a > 0{,}5t_f$), továbbá $b/t_f < 30$ és $h/t_w < 30$	bármely	c	c
U, T és tömör szelvény		minden esetben	bármely	c	c
Szögacél		minden esetben	bármely	b	b

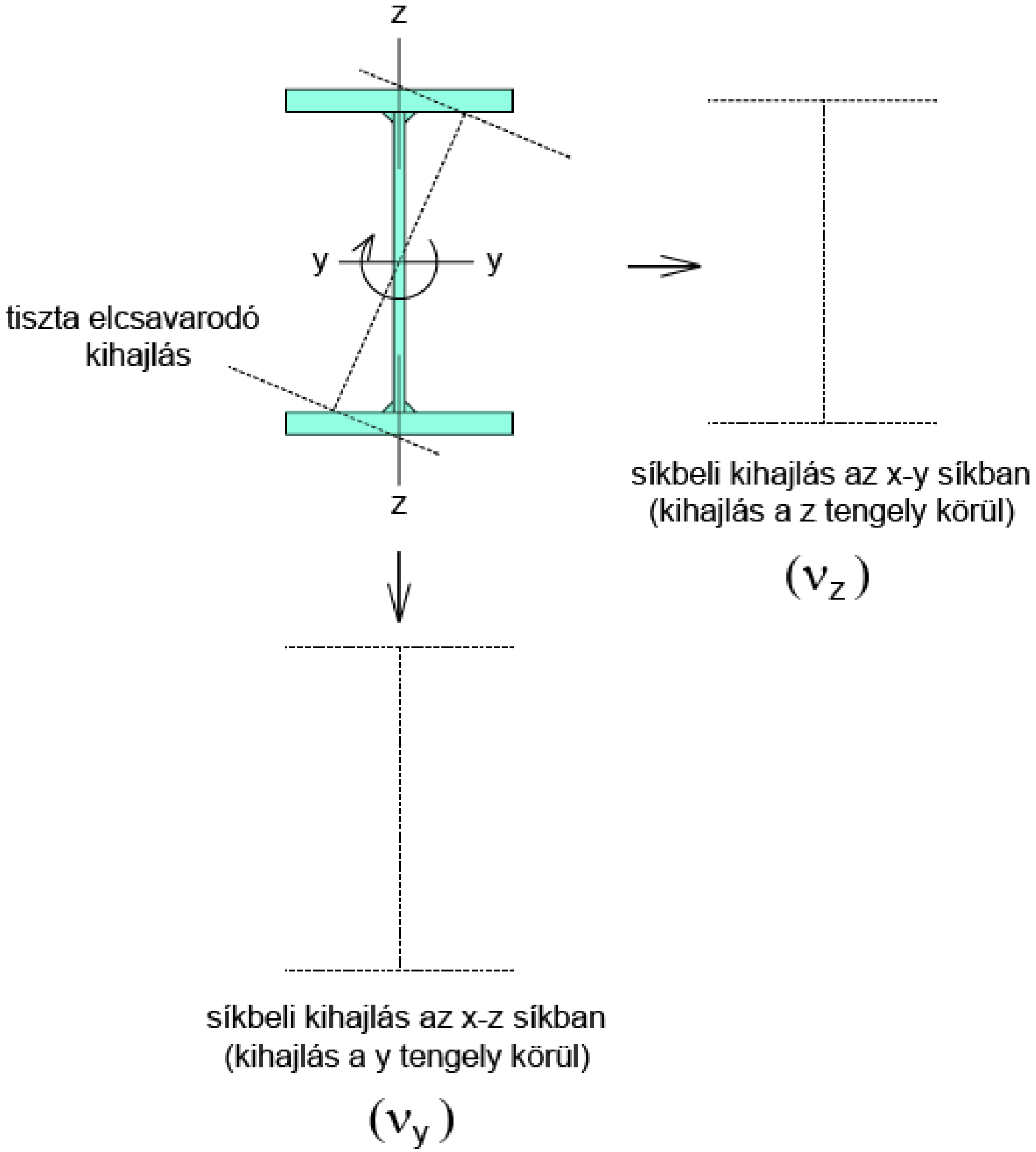
A kihajlási görbék kiválasztása 2. [3.]

$\bar{\lambda}$	a_0	a	b	c	d
0,20	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,25	0,9931	0,9889	0,9822	0,9746	0,9611
0,30	0,9859	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,35	0,9783	0,9655	0,9455	0,9235	0,8866
0,40	0,9701	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,45	0,9612	0,9391	0,9057	0,8705	0,8146
0,50	0,9513	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,55	0,9402	0,9080	0,8614	0,8146	0,7444
0,60	0,9276	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,65	0,9130	0,8700	0,8112	0,7554	0,6762
0,70	0,8961	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,75	0,8764	0,8230	0,7547	0,6935	0,6109
0,80	0,8533	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,85	0,8266	0,7659	0,6931	0,6308	0,5496
0,90	0,7961	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
0,95	0,7620	0,7003	0,6290	0,5695	0,4933
1,00	0,7253	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,05	0,6870	0,6306	0,5657	0,5115	0,4423
1,10	0,6482	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,15	0,6101	0,5623	0,5060	0,4583	0,3969
1,20	0,5732	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,25	0,5382	0,4993	0,4517	0,4106	0,3568
1,30	0,5053	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,35	0,4746	0,4432	0,4035	0,3684	0,3215
1,40	0,4461	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,45	0,4197	0,3943	0,3613	0,3313	0,2906
1,50	0,3953	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,55	0,3728	0,3521	0,3245	0,2989	0,2635
1,60	0,3520	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512

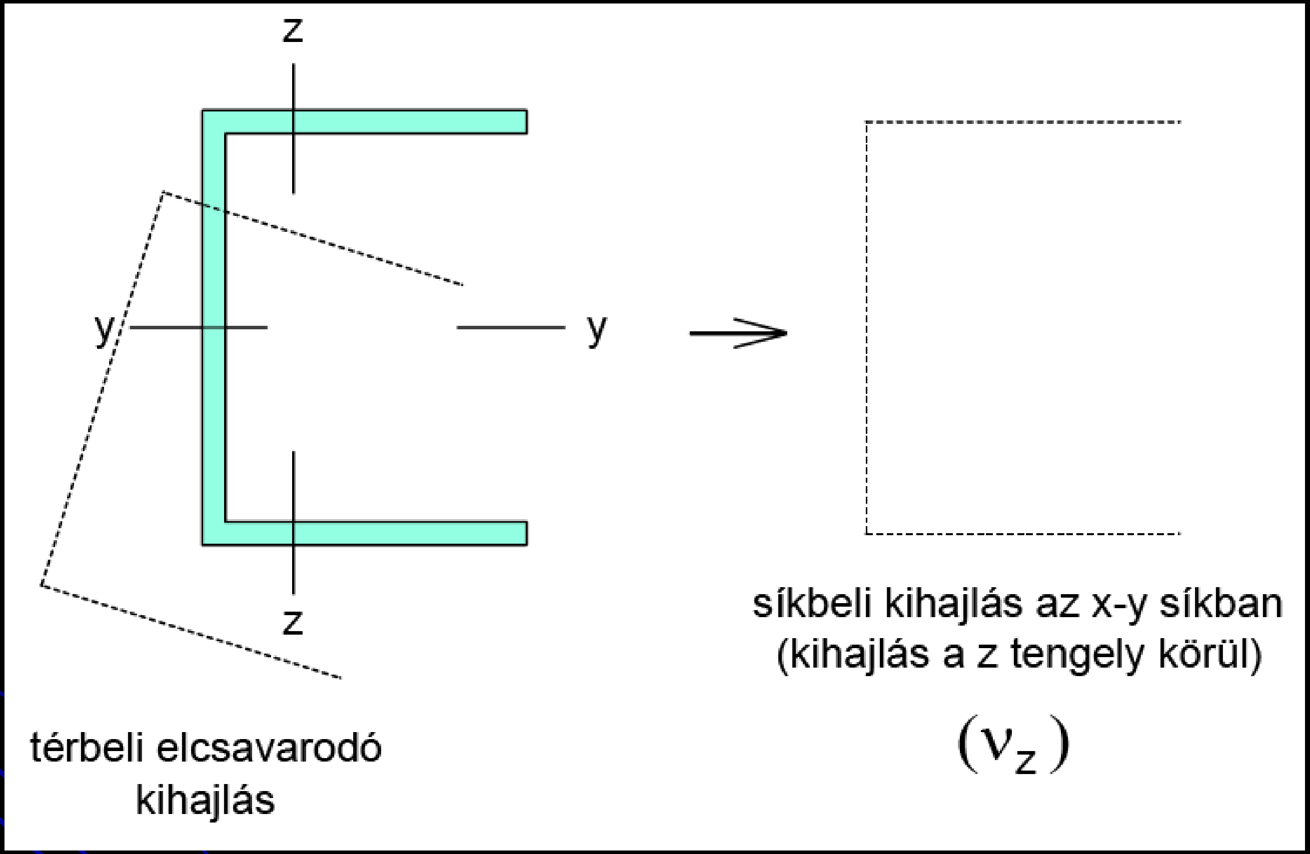
$\bar{\lambda}$	a_0	a	b	c	d
1,65	0,3328	0,3157	0,2925	0,2705	0,2397
1,70	0,3150	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,75	0,2985	0,2843	0,2646	0,2457	0,2188
1,80	0,2833	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,85	0,2691	0,2571	0,2403	0,2240	0,2004
1,90	0,2559	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
1,95	0,2437	0,2335	0,2191	0,2049	0,1841
2,00	0,2323	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,05	0,2217	0,2129	0,2004	0,1880	0,1696
2,10	0,2117	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,15	0,2024	0,1949	0,1840	0,1731	0,1567
2,20	0,1937	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,25	0,1855	0,1790	0,1694	0,1598	0,1452
2,30	0,1779	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,35	0,1707	0,1649	0,1565	0,1480	0,1349
2,40	0,1639	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,45	0,1575	0,1524	0,1450	0,1374	0,1257
2,50	0,1515	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,55	0,1458	0,1413	0,1347	0,1278	0,1173
2,60	0,1404	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,65	0,1353	0,1313	0,1254	0,1193	0,1097
2,70	0,1305	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,75	0,1259	0,1224	0,1170	0,1115	0,1029
2,80	0,1216	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,85	0,1175	0,1143	0,1095	0,1045	0,0966
2,90	0,1136	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
2,95	0,1098	0,1070	0,1026	0,0981	0,0909
3,00	0,1063	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882



Kihajlási görbék táblázata [3.]

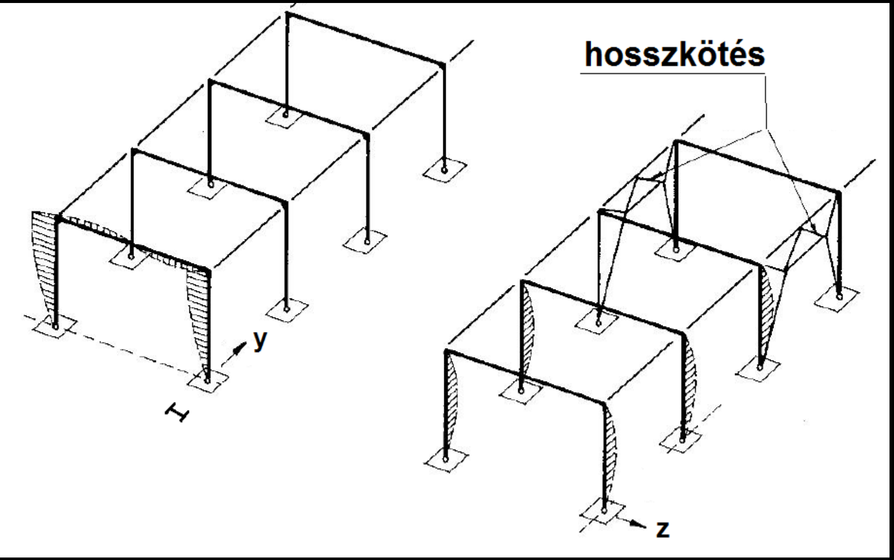


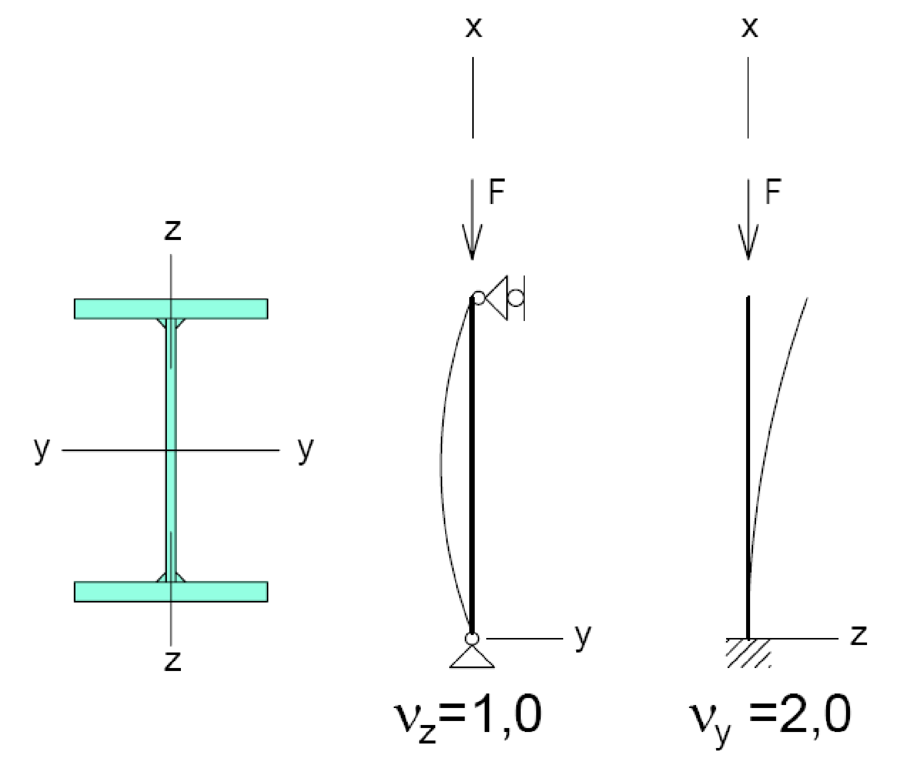
kétszeresen szimmetrikus szelvények

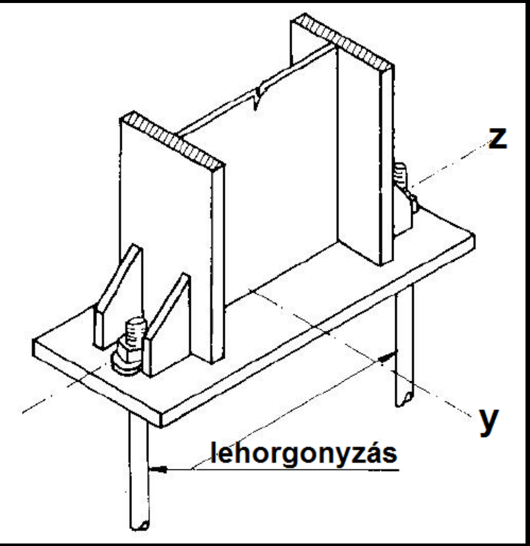


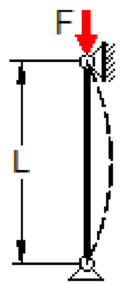
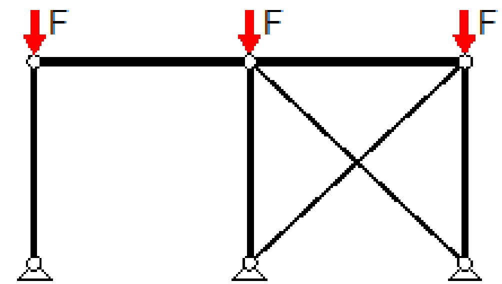
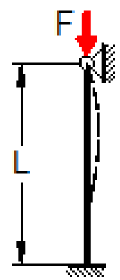
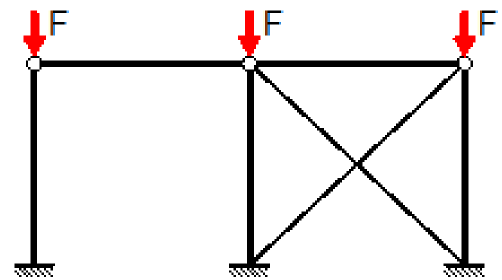
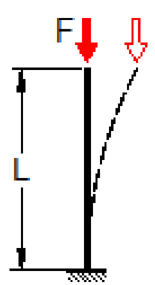
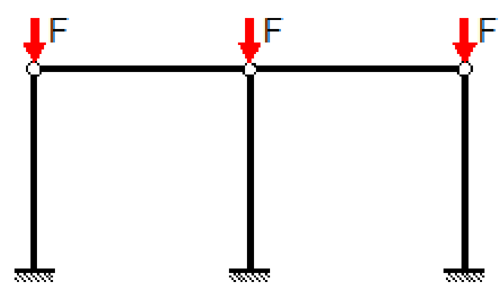
egyszeresen szimmetrikus szelvények

Kihajlási hosszak meghatározása

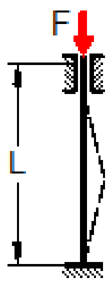
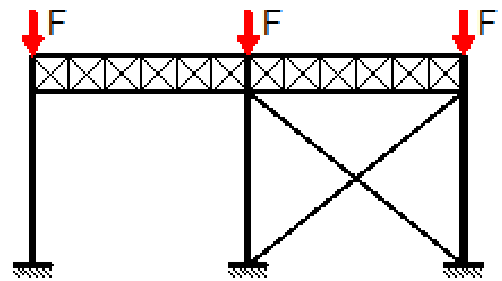
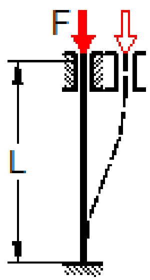
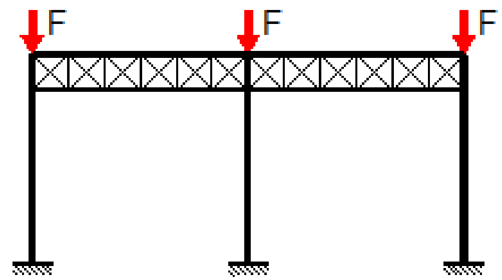
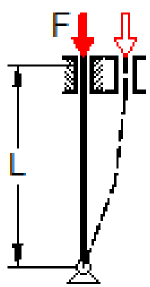
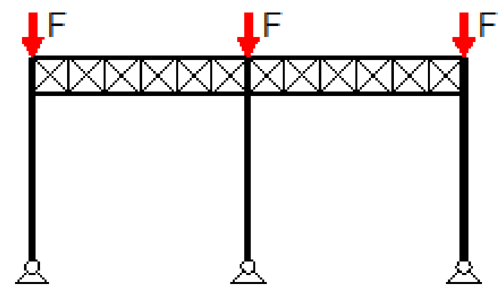






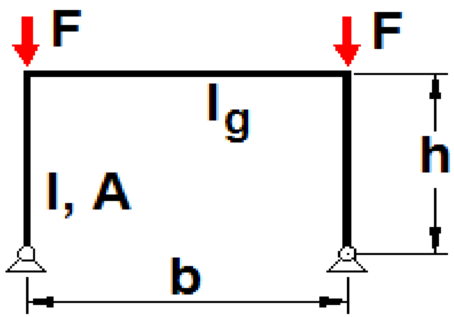
Megtámasztás módja	ν tényező értéke	Példa
a 	$\nu = 1{,}0$	
b 	$\nu = 0{,}7$	
c 	$\nu = 2{,}0$	

A kihajlási hossz meghatározása alapesetekre 1. [1]

Megtámasztás módja	ν tényező értéke	Példa
d 	$\nu = 0{,}5$	
e 	$\nu = 1{,}0$	
f 	$\nu = 2{,}0$	

A kihajlási hossz meghatározása alapesetekre 2. [1]

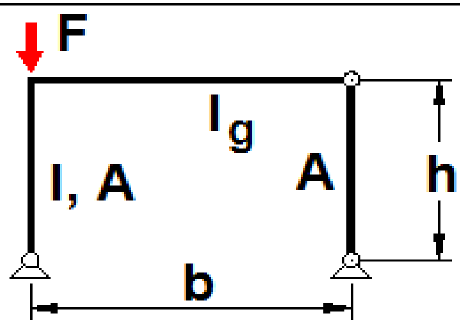
$$L_{cr} = \nu \cdot h \qquad \nu = \sqrt{\frac{1+m}{2}}\sqrt{4+1{,}4(c+6\alpha)+0{,}02(c+6\alpha)^2}$$



$$m = \frac{F_1}{F} \le 1$$

$$c = \frac{I \cdot b}{I_g \cdot h}$$

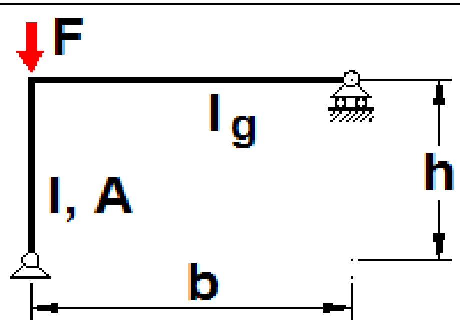
$$\alpha = \frac{4I}{b^2 \cdot A} \le 0{,}2$$



$$m = 1$$

$$c = \frac{2 \cdot I \cdot b}{I_g \cdot h}$$

$$\alpha = \frac{I}{b^2}\left(\frac{1}{A}+\frac{1}{A_1}\right)$$



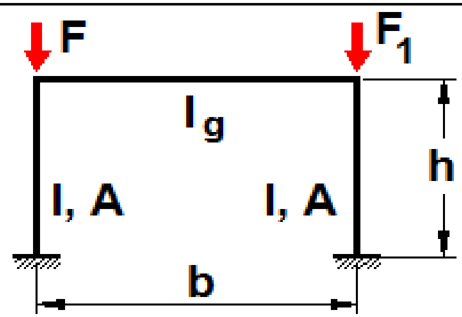
$$m = 1$$

$$c = \frac{2 \cdot I \cdot b}{I_g \cdot h}$$

$$\alpha = \frac{I}{b^2 \cdot A}$$

Egynyílású csuklós keretek kihajlási hossza [1]

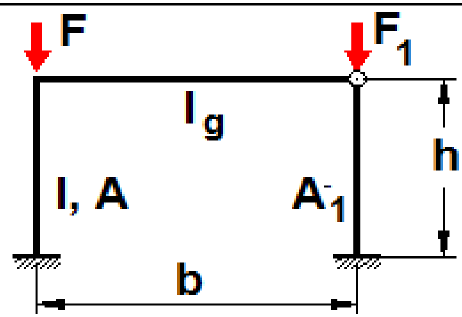
$$L_{cr} = \nu \cdot h \qquad \nu = \sqrt{\frac{1+m}{2}}\sqrt{1+0{,}35(c+6\alpha)+0{,}017(c+6\alpha)^2}$$



$$m = \frac{F_1}{F} \leq 1$$

$$c = \frac{I \cdot b}{I_g \cdot h}$$

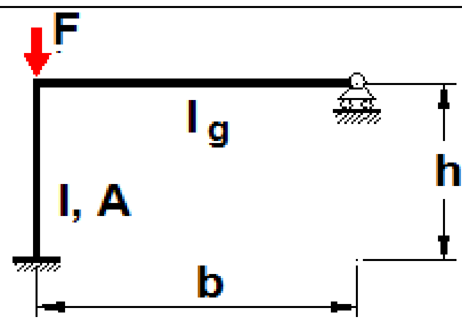
$$\alpha = \frac{4I}{b^2 \cdot A} \leq 0{,}2$$



$$m = 1$$

$$c = \frac{2 \cdot I \cdot b}{I_g \cdot h}$$

$$\alpha = \frac{I}{b^2}\left(\frac{1}{A} + \frac{1}{A_1}\right)$$



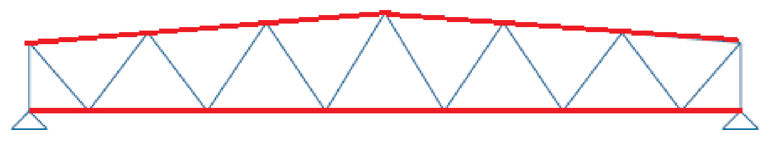
$$m = \frac{F_1}{F} \leq 1$$

$$c = \frac{I \cdot b}{I_g \cdot h}$$

$$\alpha = \frac{4I}{b^2 \cdot A} \leq 0{,}2$$

Egynyílású befogott keretek kihajlási hossza [1]

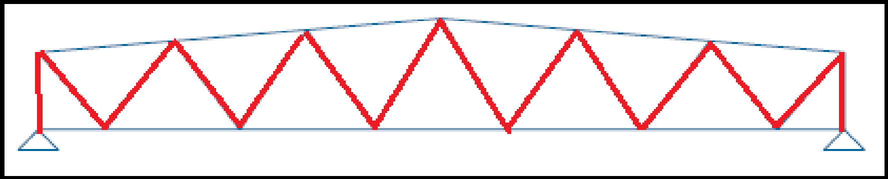
Kihajlási hossz rácsos tartókon



Övrudak esetén:

1. A rácsos tartó síkjában és arra merőlegesen bekövetkező kihajlás esetén: $L_{cr} = L$
2. I és H szelvényű övrudak esetén a tartó síkjában bekövetkező kihajlás esetén: $L_{cr} = 0,9 \cdot L$
3. Zárt szelvényű övrúd esetén mind a tartó síkjában, mind arra merőlegesen bekövetkező kihajlás esetén: $L_{cr} = 0,9 \cdot L$

Rácsrudak esetén I.



1. A rácsos tartó síkjában bekövetkező kihajlás esetén általában (ha a rácsrúd nem szögacél illetve az övek és a rúdvégi kapcsolatok megfelelő befogást biztosítanak): $L_{cr} = 0,9 \cdot L$
2. Síkra merőleges kihajlás esetén általában: $L_{cr} = L$
3. Zártszelvényű rácsrudak kihajlási hossza csuklós kialakítás esetén mindkét síkra vonatkozóan: $L_{cr} = L$

Rácsrudak esetén II.

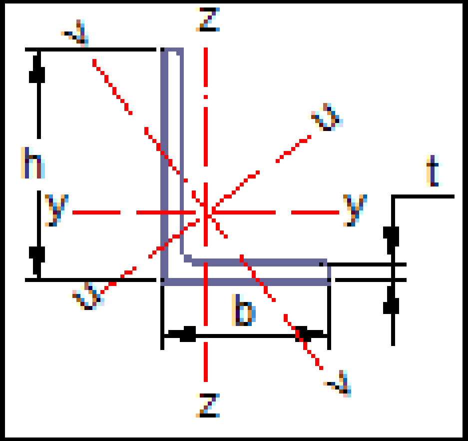
4. Zártszelvényű övrudak, hegesztett csomópontok és párhuzamos övek esetén mindkét síkra vonatkozóan, ha a rácsrúd-övrúd szélesség/átmérő arány kisebb mint 0,6 : $L_{cr} = 0{,}75L$

5. Ha a rácsrúd két végén különböző végkiképzést alkalmazunk, a kihajlási hosszat a két végkiképzéshez tartozó kihajlási hossz számtani középértékére kell felvenni.

6. Ha a szögacél szelvényű rácsrúd csak egy csavarral kapcsolódik az övrúdhoz, a rácsrudat külpontosan nyomott elemként kell méretezni.

Rácsrudak esetén III.

7. Egy szögacélból kialakított nyomott rácsrudak kihajlásánál (ha az övek és a rúdvégi kapcsolatok megfelelő befogást biztosítanak):



- a bekötési külpontosság hatása elhanyagolható és központosan nyomott rúdként síkbeli kihajlásra méretezhetők
- helyettesítő viszonyított karcsúságokat kell figyelembe venni

$$\bar{\lambda}_{effv} = 0{,}35 + 0{,}7\bar{\lambda}_{v}$$

$$\bar{\lambda}_{effy} = 0{,}50 + 0{,}7\bar{\lambda}_{y}$$

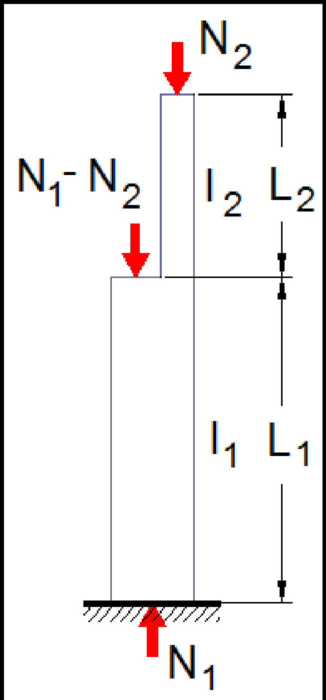
$$\bar{\lambda}_{effz} = 0{,}50 + 0{,}7\bar{\lambda}_{z}$$

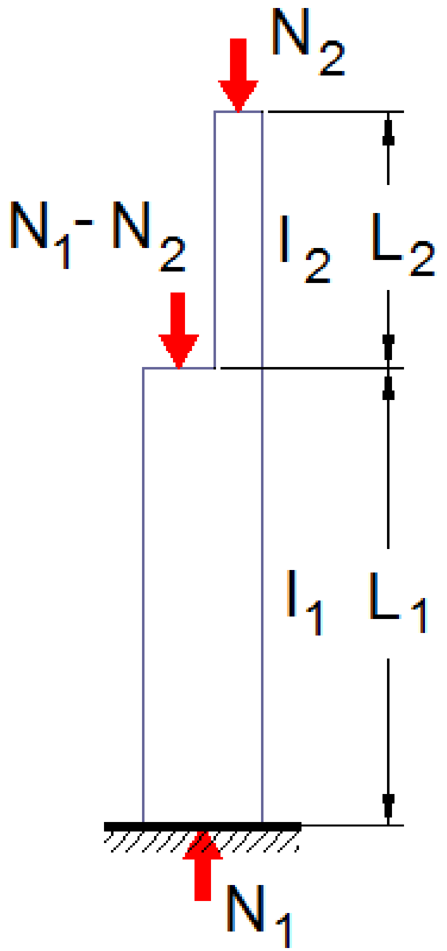
Változó keresztmetszetű rudak kihajlási hossza

- Az *Eurocode 3* változó keresztmetszetű rudakra vonatkozó részletes módszert nem közöl.
- Bármely eljárás alkalmazható, melynek biztonságosossága igazolható.
- Az MSZ 15024/1-ben található módszer alkalmazható.
- Alkalmazhatósági feltételek:
  - alul befogott egyszer változó km.-ű oszlopok
  - $L_2 < 0{,}6 \cdot L_1$
  - $N_1 > 3 \cdot N_2$

Különálló rúdként vizsgálható

$\nu_1 \cdot L_1$ $\nu_2 \cdot L_2$





A felső oszlopvég megtámasztási módja	az alsó szakaszon $0{,}3 > \frac{I_2}{I_1} > 0{,}1$	az alsó szakaszon $0{,}1 > \frac{I_2}{I_1} > 0{,}05$	a felső szakaszon
Oszlopvég eltolódhat és elfordulhat	$\nu_1 = 2{,}5$	$\nu_1 = 3{,}0$	$\nu_2 = 3{,}0$
Eltolódás lehetséges, elfordulás ellen rögzített	$\nu_1 = 2{,}0$	$\nu_1 = 2{,}0$	$\nu_2 = 3{,}0$
Elfordulás lehetséges (csuklós), eltolódás ellen rögzített	$\nu_1 = 1{,}6$	$\nu_1 = 2{,}0$	$\nu_2 = 2{,}5$
Mereven befogott, elfordulás és eltolódás ellen rögzített	$\nu_1 = 1{,}2$	$\nu_1 = 1{,}5$	$\nu_2 = 2{,}0$

Változó keresztmetszetű rudak kihajlási hossza [1]