PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
MŰSZAKI ÉS INFORMATIKAI KAR

Acélszerkezetek (I.)

4. előadás

Nyomott elemek kihajlása, a kihajlási hosszak értelmezése

Szabó Imre Gábor
Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar
Építőmérnök Tanszék

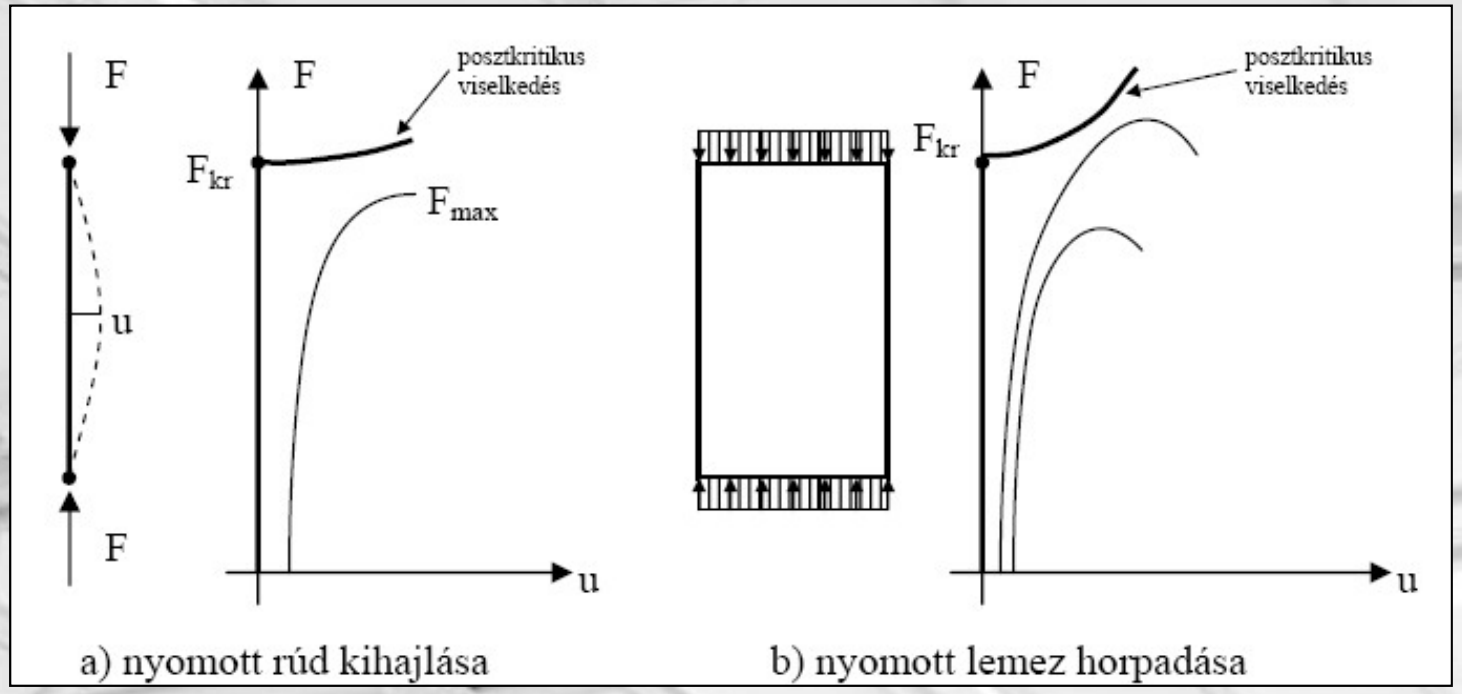
1. Stabilitási ellenállás

A központosan nyomott keresztmetszetek nem csak a keresztmetszet megfolyásával mehetnek tönkre, hanem stabilitásvesztéssel is.

Stabilitásvesztés: az ún. kritikus erőnél a rúd oldalirányban kihajlik, azaz az erő irányára merőleges értelmű deformált alakban veszi fel az új egyensúlyi helyzetét. Ezt egyensúlyi elágazásnak nevezzük. Nyomott rúd esetében ez gyakorlatilag a teherbírás maximumát is jelenti. Az elágazás utáni állapotban (posztkritikus viselkedés) a teher kismértékű növelése a deformáció jelentős növekedésével jár.

Másképpen fogalmazva a stabilitásvesztés egy szerkezet, vagy szerkezeti elem viselkedésének hirtelen, a keresztmetszeti feszültségekkel nem magyarázható megváltozását, teherbírásának ugrásszerű lecsökkenését jelenti.

A stabilitásvesztés a szerkezet-szerkezeti elem azonnali tönkremenetelét, és ezzel akár az egész építmény összeomlását idézheti elő, ezért ennek elkerülése a legfontosabb mérnöki feladat.



1. ábra. Egyensúly-elágazás [Dunai, Horváth 2007]

A stabilitásvesztés nem csak rudaknál és nem csak nyomás esetén jön létre. A stabilitásvesztési módokat aszerint is csoportosíthatjuk, hogy a teljes elemet érinti-e, vagy annak csak egy alkotó elemét:

- globális stabilitásvesztés: ilyenek lehetnek pl. síkbeli rúdkihajlás, elcsavarodó kihajlás, rúdkifordulás,
- lokális stabilitásvesztés: ilyenek lehetnek pl. az alkotó lemez horpadása, vagy összetett szelvények esetén az alkotó elemek rész-szelvény kihajlása.

Az egyes stabilitásvesztési módok létrejötte függ az elemre ható igénybevételtől is, így a globális módok közül lehet:

- kihajlás a nyomott rudaknál,
- kifordulás a hajlított tartóknál,

míg a lemezhorpadásoknál megkülönböztetünk:

- nyomott és/vagy hajlított lemezek horpadását (hosszirányú feszültségek),
- keresztirányban nyomott lemezek beroppanását (közvetlenül a terhelt gerinc),
- nyírt lemezek horpadását.

Az egyes stabilitásvesztési módokhoz jellegzetes alakok tartoznak. Az *1. táblázat* összefoglalja az igénybevételek hatására fellépő stabilitásvesztési módokat. A továbbiakban részletesen csak azokat tárgyaljuk, melyek a félév során elő fognak fordulni.

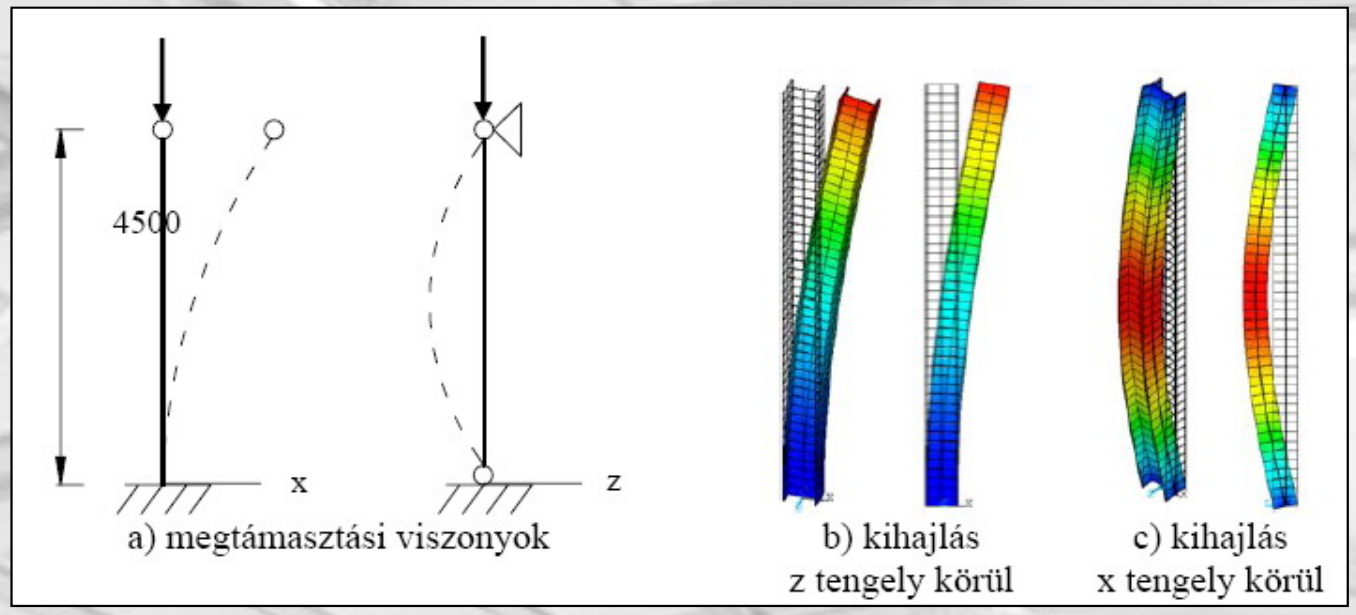
A további stabilitási jelenségekről bővebb útmutatással szolgál a kiadott segédlet (Dunai László, Horváth László, Kovács Nauzika, Varga Géza, Verőci Béla, Vigh L. Gergely: *Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint, gyakorlati útmutató*. Budapest, 2007. 39. oldaltól).

		központos nyomás	egyenes hajlítás	nyírás	keresztirányú feszültségek (közvetlen teher)
globális	rudak	síkbeli kihajlás térbeli elcsavarodó kihajlás	kifordulás		
lokális	alkotó lemez	lemez-horpadás	nyomott lemezrész horpadása	nyírási lemez-horpadás	beroppanás
	összetett szelvényű rúd rész-szelvénye	rész-szelvény kihajlása			
kölcsönhatások					

1. táblázat. Stabilitásvesztési módok osztályozása [Dunai, Horváth 2007]

1.1 Síkbeli rúdkihajlás

A kihajló rúd alakja síkgörbe, a keresztmetszete nem torzul és nem csavarodik.



2. ábra. Síkbeli rúdkihjajlás [Dunai, Horváth 2007]

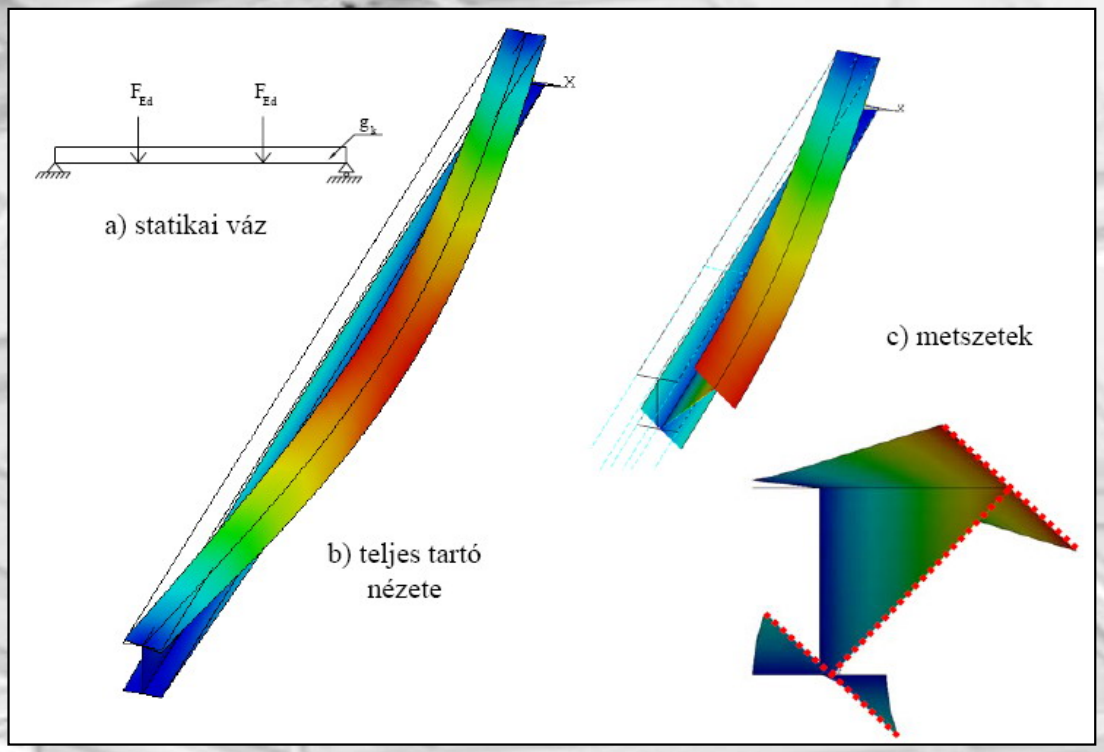
Függ:

- az anyagminőségtől,
- a hajlítási merevségtől (arra a tengelyre vonatkoztatva, amely körül kihajlik a rúd),
- a keresztmetszeti területtől,
- a befogási viszonyoktól.

1.2 Rúdkifordulás

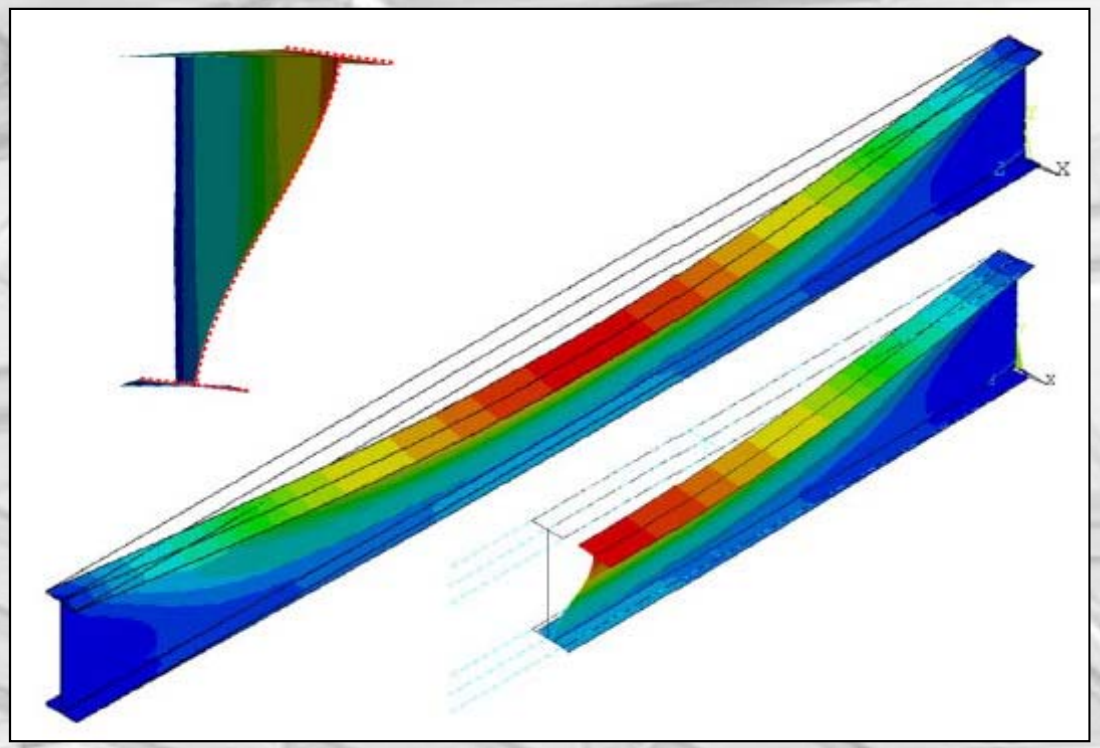
A rúdkifordulás hajlított tartó esetén jön létre, a teljes rúd meghajlik és a keresztmetszet elcsavarodik. Két fajtája van:

Alaktartó kifordulás: a keresztmetszet elcsavarodik, de nem torzul.



3. ábra. Rúdkifordulás – alaktartó keresztmetszet [Dunai, Horváth 2007]

Nem alaktartó kifordulás: a keresztmetszet jellegzetes módon torzul. Általában a magasgerincű tartókra jellemző, a húzott öv szinte helyben marad, a tartó felső öve viszont elmozdul és csavarodik, a gerinc pedig deformálódik.



4. ábra. Rúdkifordulás – nem laktartó keresztmetszet [Dunai, Horváth 2007]

Acélszerkezetek esetén a stabilitásvizsgálat sohasem a rugalmas stabilitástan eszköztárával levezethető kritikus feszültségek és igénybevételek alapján történik. Ennek az az oka, hogy a rugalmas stabilitástan tökéletesen rugalmas anyagi viselkedést tételez fel, valamint abból indul ki, hogy a vizsgálandó szerkezeti elem tökéletes, *imperfekcióktól* mentes, azaz tökéletesen egyenes, vagy sík geometriájú, sajátfeszültsségektől mentes, tökéletesen központosan terhelt. A valóságban azonban ilyen tökéletes (ideális) szerkezeti elem nincs. Mindig vannak gyártási, beépítési hibák.

A kezdeti *imperfekciók* miatt így *képlékeny instabilitással* van dolgunk. A képlékeny instabilitás nem egy meghatározott teherszinten következik be, hanem egy, számos tényezőtől (pl. kezdeti görbeség) függő folyamat során.

A kísérleti eredmények alapján a vizsgálatokat kalibrált féltapasztalati összefüggésekkel végezzük.

2. Nyomott elemek kihajlása

A karcsúság meghatározása:

$$\lambda = \frac{\nu \cdot L}{i}$$

ahol: λ – karcsúsági tényező;

ν – befogási tényező;

L – a szerkezeti elem teljes hossza;

$\nu \cdot L$ – a kihajlási hossz;

i – inerciasugár.

Az inerciasugár kiszámítása:

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

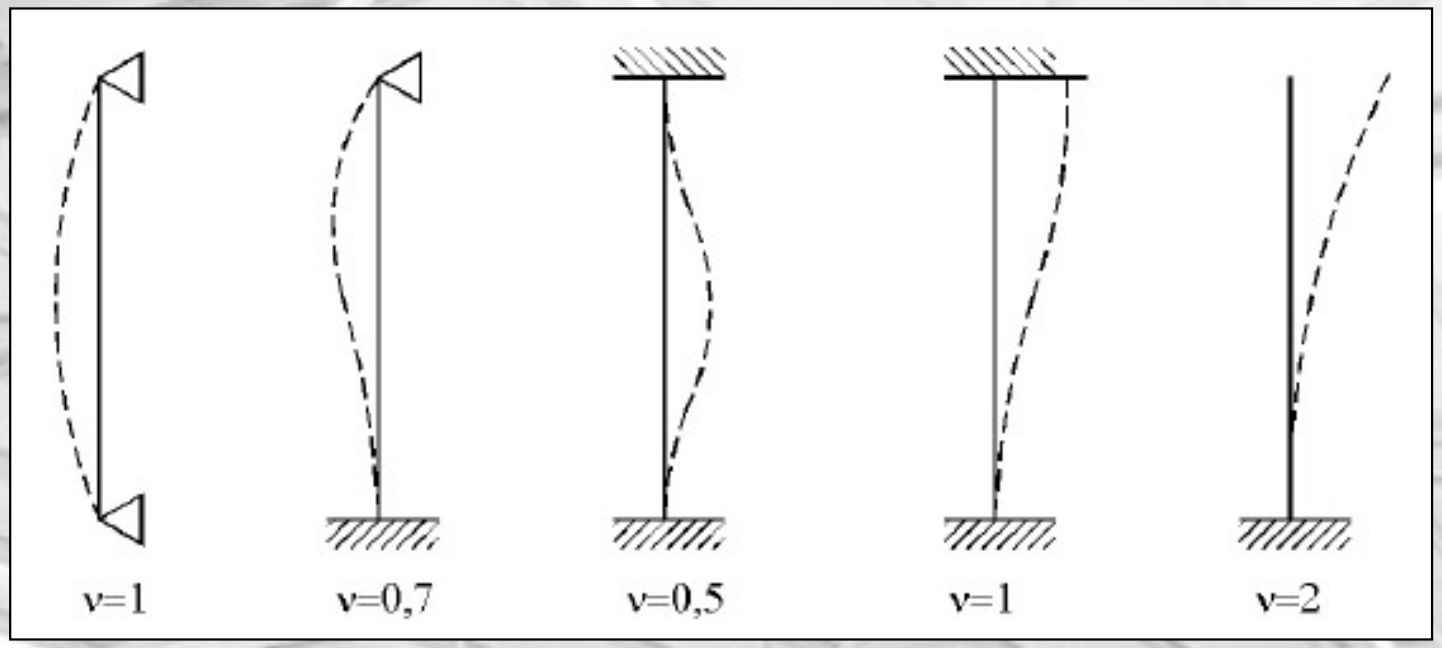
ahol: i – inerciasugár;

I – inercia;

A – a keresztmetszet felülete.

4. osztályú keresztmetszetek esetén a hatékony keresztmetszeti jellemzőkkel kell számolni. (pl. $A = A_{eff}$)

A legegyszerűbb esetekre vonatkozó *v* befogási tényezőt az *5. ábra* szemlélteti:



5. ábra. A *v* befogási tényező a legegyszerűbb megtámasztási viszonyok esetén [Dunai, Horváth 2007]

A kihajlás a keresztmetszet két fő tehetetlenségi síkjában következhet be, ezért két karcsúságot (λ_y, λ_z) kell számítani:

$$\lambda_y = \frac{\nu_y \cdot L}{i_y} \quad \text{és} \quad \lambda_z = \frac{\nu_z \cdot L}{i_z}$$

A λ karcsúságból a $\bar{\lambda}$ viszonyított karcsúság meghatározása:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

ahol: $\bar{\lambda}$ – a viszonyított karcsúság;

λ – karcsúsági tényező;

λ_1 – annak a képzeletbeli rúdnak a karcsúsága, amelynek kihajlása és keresztmetszetének megfolyása egyszerre következik be.

A λ_1 anyagjellemző, mivel csak a rugalmassági modulustól és a folyáshatártól függ:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Ennek megfelelően: S235 anyagra: $\lambda_1 = 93{,}9$

S275 anyagra: $\lambda_1 = 86{,}8$

S355 anyagra: $\lambda_1 = 76{,}4$

S420 anyagra: $\lambda_1 = 70{,}2$

S460 anyagra: $\lambda_1 = 67{,}1$

A kihajlási ellenállás számítása:

A viszonyított karcsúság függvényében megadott χ csökkentő tényező segítségével történik a következő összefüggésből:

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

ahol: $N_{b,Rd}$ – a kihajlási ellenállás;

χ – kihajlási csökkentő tényező

$\overline{A} = A$ – a keresztmetszeti felület, de tiszta nyomásra 4. osztályú keresztmetszet esetében $\overline{A} = A_{eff}$;

f_y – az anyag folyáshatár értéke;

γ_{M1} – parciális tényező rudak stabilitásvizsgálatára (értéke 1,00).

A χ kihajlási csökkentő tényező függ a keresztmetszet alakjától is, és az ún. európai kihajlási görbékből (a_0, a, b, c és d) határozható meg.

A χ kihajlási csökkentő tényezőt a viszonyított karcsúságtól és a keresztmetszet besorolásától függően a következő képlet szolgálja:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{de} \quad \chi \leq 1{,}0$$

ahol:

$$\Phi = \frac{1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2}{2}$$

ahol: α – alakhiba-tényező, amely a keresztmetszet besorolásától függ;

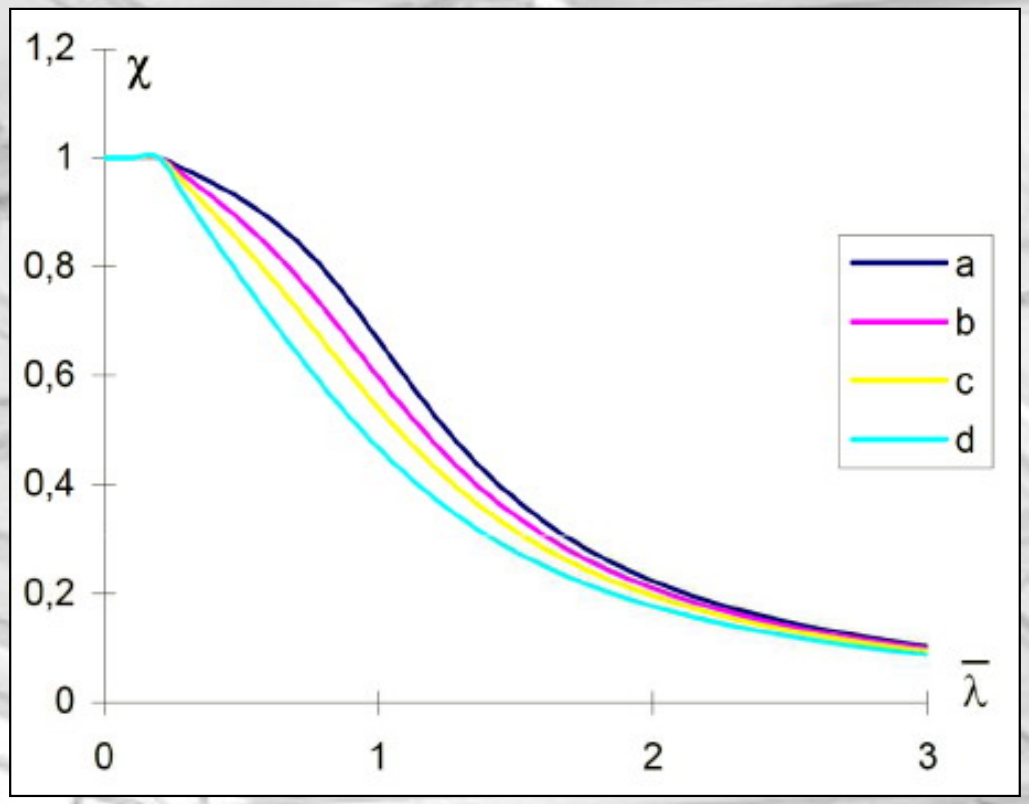
$\bar{\lambda}$ – viszonyított karcsúság.

Az *α* alakhiba-tényező az alakhibák, vagyis imperfekciók nagyságát adja meg, melynek értékeit a *2. táblázat* mutatja:

a keresztmetszet csoportja	α alakhiba tényező
a_0	0,13
a	0,21
b	0,34
c	0,49
d	0,76

2. táblázat. Az *α* alakhiba–tényező értékei

A megfelelő kihajlási görbe kiválasztása egy adott keresztmetszethez táblázat alapján történik, mely táblázat a keresztmetszet típusának, a méretkorlátoknak és annak a tengelynek a függvényében, mely körül a kihajlás létre jöhet, segít kiválasztani a görbét.



6. ábra. Kihajlási görbék [Grün 2013]

Az „a_0” görbe jelenti a legkisebb, a „d” a legnagyobb csökkentést. A rudak besorolása imperfekcióiktól, elsősorban gyártási sajátfeszültségektől függ. Az utolsó két oszlopban: (a): S235, S420 anyagokra, (b): S460 anyagra.

Keresztmetszet típusa	Eset		Kihajlás tengelye	Csoport	
				(a)	(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
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

3. táblázat. Rudak besorolása a kihajlás vizsgálathoz [Dunai, Horváth 2007]

A kihajlási görbe táblázatok megtalálhatók:

- Dunai László, Horváth László, Kovács Nauzika, Varga Géza, Verőci Béla, Vigh L. Gergely: *Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint, gyakorlati útmutató.* Budapest, 2007. 51-55 oldalon;
- Dunai László, Horváth László, Kovács Nauzika, Varga Géza, Verőci Béla, Vigh L. Gergely: *Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint, gyakorlati útmutató.* Budapest, 2009. 141-145 oldalon.

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,20	1,0000	0,9986	0,9973	0,9959	0,9945	0,9931	0,9917	0,9903	0,9889	0,9874	0,20
0,30	0,9859	0,9845	0,9829	0,9814	0,9799	0,9783	0,9767	0,9751	0,9735	0,9718	0,30
0,40	0,9701	0,9684	0,9667	0,9649	0,9631	0,9612	0,9593	0,9574	0,9554	0,9534	0,40
0,50	0,9513	0,9492	0,9470	0,9448	0,9425	0,9402	0,9378	0,9354	0,9328	0,9302	0,50
0,60	0,9276	0,9248	0,9220	0,9191	0,9161	0,9130	0,9099	0,9066	0,9032	0,8997	0,60
0,70	0,8961	0,8924	0,8886	0,8847	0,8806	0,8764	0,8721	0,8676	0,8630	0,8582	0,70
0,80	0,8533	0,8483	0,8431	0,8377	0,8322	0,8266	0,8208	0,8148	0,8087	0,8025	0,80
0,90	0,7961	0,7895	0,7828	0,7760	0,7691	0,7620	0,7549	0,7476	0,7403	0,7329	0,90
1,00	0,7253	0,7178	0,7101	0,7025	0,6948	0,6870	0,6793	0,6715	0,6637	0,6560	1,00
1,10	0,6482	0,6405	0,6329	0,6252	0,6176	0,6101	0,6026	0,5951	0,5877	0,5804	1,10
1,20	0,5732	0,5660	0,5590	0,5520	0,5450	0,5382	0,5314	0,5248	0,5182	0,5117	1,20
1,30	0,5053	0,4990	0,4927	0,4866	0,4806	0,4746	0,4687	0,4629	0,4572	0,4516	1,30
1,40	0,4461	0,4407	0,4353	0,4300	0,4248	0,4197	0,4147	0,4097	0,4049	0,4001	1,40
1,50	0,3953	0,3907	0,3861	0,3816	0,3772	0,3728	0,3685	0,3643	0,3601	0,3560	1,50
1,60	0,3520	0,3480	0,3441	0,3403	0,3365	0,3328	0,3291	0,3255	0,3219	0,3184	1,60
1,70	0,3150	0,3116	0,3083	0,3050	0,3017	0,2985	0,2954	0,2923	0,2892	0,2862	1,70
1,80	0,2833	0,2804	0,2775	0,2746	0,2719	0,2691	0,2664	0,2637	0,2611	0,2585	1,80
1,90	0,2559	0,2534	0,2509	0,2485	0,2461	0,2437	0,2414	0,2390	0,2368	0,2345	1,90
2,00	0,2323	0,2301	0,2280	0,2258	0,2237	0,2217	0,2196	0,2176	0,2156	0,2136	2,00
2,10	0,2117	0,2098	0,2079	0,2061	0,2042	0,2024	0,2006	0,1989	0,1971	0,1954	2,10
2,20	0,1937	0,1920	0,1904	0,1887	0,1871	0,1855	0,1840	0,1824	0,1809	0,1794	2,20
2,30	0,1779	0,1764	0,1749	0,1735	0,1721	0,1707	0,1693	0,1679	0,1665	0,1652	2,30
2,40	0,1639	0,1626	0,1613	0,1600	0,1587	0,1575	0,1563	0,1550	0,1538	0,1526	2,40
2,50	0,1515	0,1503	0,1491	0,1480	0,1469	0,1458	0,1447	0,1436	0,1425	0,1414	2,50
2,60	0,1404	0,1394	0,1383	0,1373	0,1363	0,1353	0,1343	0,1333	0,1324	0,1314	2,60
2,70	0,1305	0,1296	0,1286	0,1277	0,1268	0,1259	0,1250	0,1242	0,1233	0,1224	2,70
2,80	0,1216	0,1207	0,1199	0,1191	0,1183	0,1175	0,1167	0,1159	0,1151	0,1143	2,80
2,90	0,1136	0,1128	0,1120	0,1113	0,1106	0,1098	0,1091	0,1084	0,1077	0,1070	2,90
3,00	0,1063	0,1056	0,1049	0,1043	0,1036	0,1029	0,1023	0,1016	0,1010	0,1003	3,00
3,10	0,0997	0,0991	0,0985	0,0979	0,0972	0,0966	0,0960	0,0955	0,0949	0,0943	3,10
3,20	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	0,0915	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	3,20
3,30	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	3,30
3,40	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	3,40
3,50	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	0,0769	0,0765	0,0761	0,0756	0,0752	0,0748	3,50
3,60	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	0,0728	0,0724	0,0720	0,0717	0,0713	0,0709	3,60
3,70	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	0,0691	0,0687	0,0683	0,0680	0,0676	0,0673	3,70
3,80	0,0669	0,0666	0,0662	0,0659	0,0656	0,0652	0,0649	0,0646	0,0642	0,0639	3,80
3,90	0,0636	0,0633	0,0630	0,0626	0,0623	0,0620	0,0617	0,0614	0,0611	0,0608	3,90
4,00	0,0605	0,0602	0,0599	0,0596	0,0593	0,0591	0,0588	0,0585	0,0582	0,0579	4,00
4,10	0,0576	0,0574	0,0571	0,0568	0,0566	0,0563	0,0560	0,0558	0,0555	0,0552	4,10
4,20	0,0550	0,0547	0,0545	0,0542	0,0540	0,0537	0,0535	0,0532	0,0530	0,0527	4,20
4,30	0,0525	0,0522	0,0520	0,0518	0,0515	0,0513	0,0511	0,0508	0,0506	0,0504	4,30
4,40	0,0502	0,0499	0,0497	0,0495	0,0493	0,0491	0,0488	0,0486	0,0484	0,0482	4,40
4,50	0,0480	0,0478	0,0476	0,0474	0,0472	0,0470	0,0468	0,0466	0,0464	0,0462	4,50
4,60	0,0460	0,0458	0,0456	0,0454	0,0452	0,0450	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	4,60
4,70	0,0440	0,0439	0,0437	0,0435	0,0433	0,0431	0,0430	0,0428	0,0426	0,0424	4,70
4,80	0,0423	0,0421	0,0419	0,0417	0,0416	0,0414	0,0412	0,0411	0,0409	0,0407	4,80
4,90	0,0406	0,0404	0,0402	0,0401	0,0399	0,0398	0,0396	0,0395	0,0393	0,0391	4,90
5,00	0,0390	0,0388	0,0387	0,0385	0,0384	0,0382	0,0381	0,0379	0,0378	0,0376	5,00

F1.1. táblázat: Az „a_0" kihajlási görbe táblázata χ értékei $\overline{\lambda}$ függvényében.

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,20	1,0000	0,9978	0,9956	0,9934	0,9912	0,9889	0,9867	0,9844	0,9821	0,9798	0,20
0,30	0,9775	0,9751	0,9728	0,9704	0,9680	0,9655	0,9630	0,9605	0,9580	0,9554	0,30
0,40	0,9528	0,9501	0,9474	0,9447	0,9419	0,9391	0,9363	0,9333	0,9304	0,9273	0,40
0,50	0,9243	0,9211	0,9179	0,9147	0,9114	0,9080	0,9045	0,9010	0,8974	0,8937	0,50
0,60	0,8900	0,8862	0,8823	0,8783	0,8742	0,8700	0,8657	0,8614	0,8569	0,8524	0,60
0,70	0,8477	0,8430	0,8382	0,8332	0,8282	0,8230	0,8178	0,8124	0,8069	0,8014	0,70
0,80	0,7957	0,7899	0,7841	0,7781	0,7721	0,7659	0,7597	0,7534	0,7470	0,7405	0,80
0,90	0,7339	0,7273	0,7206	0,7139	0,7071	0,7003	0,6934	0,6865	0,6796	0,6726	0,90
1,00	0,6656	0,6586	0,6516	0,6446	0,6376	0,6306	0,6236	0,6167	0,6098	0,6029	1,00
1,10	0,5960	0,5892	0,5824	0,5757	0,5690	0,5623	0,5557	0,5492	0,5427	0,5363	1,10
1,20	0,5300	0,5237	0,5175	0,5114	0,5053	0,4993	0,4934	0,4875	0,4817	0,4760	1,20
1,30	0,4703	0,4648	0,4593	0,4538	0,4485	0,4432	0,4380	0,4329	0,4278	0,4228	1,30
1,40	0,4179	0,4130	0,4083	0,4036	0,3989	0,3943	0,3898	0,3854	0,3810	0,3767	1,40
1,50	0,3724	0,3682	0,3641	0,3601	0,3561	0,3521	0,3482	0,3444	0,3406	0,3369	1,50
1,60	0,3332	0,3296	0,3261	0,3226	0,3191	0,3157	0,3124	0,3091	0,3058	0,3026	1,60
1,70	0,2994	0,2963	0,2933	0,2902	0,2872	0,2843	0,2814	0,2786	0,2757	0,2730	1,70
1,80	0,2702	0,2675	0,2649	0,2623	0,2597	0,2571	0,2546	0,2522	0,2497	0,2473	1,80
1,90	0,2449	0,2426	0,2403	0,2380	0,2358	0,2335	0,2314	0,2292	0,2271	0,2250	1,90
2,00	0,2229	0,2209	0,2188	0,2168	0,2149	0,2129	0,2110	0,2091	0,2073	0,2054	2,00
2,10	0,2036	0,2018	0,2001	0,1983	0,1966	0,1949	0,1932	0,1915	0,1899	0,1883	2,10
2,20	0,1867	0,1851	0,1836	0,1820	0,1805	0,1790	0,1775	0,1760	0,1746	0,1732	2,20
2,30	0,1717	0,1704	0,1690	0,1676	0,1663	0,1649	0,1636	0,1623	0,1610	0,1598	2,30
2,40	0,1585	0,1573	0,1560	0,1548	0,1536	0,1524	0,1513	0,1501	0,1490	0,1478	2,40
2,50	0,1467	0,1456	0,1445	0,1434	0,1424	0,1413	0,1403	0,1392	0,1382	0,1372	2,50
2,60	0,1362	0,1352	0,1342	0,1332	0,1323	0,1313	0,1304	0,1295	0,1285	0,1276	2,60
2,70	0,1267	0,1258	0,1250	0,1241	0,1232	0,1224	0,1215	0,1207	0,1198	0,1190	2,70
2,80	0,1182	0,1174	0,1166	0,1158	0,1150	0,1143	0,1135	0,1128	0,1120	0,1113	2,80
2,90	0,1105	0,1098	0,1091	0,1084	0,1077	0,1070	0,1063	0,1056	0,1049	0,1042	2,90
3,00	0,1036	0,1029	0,1022	0,1016	0,1010	0,1003	0,0997	0,0991	0,0985	0,0978	3,00
3,10	0,0972	0,0966	0,0960	0,0954	0,0949	0,0943	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	3,10
3,20	0,0915	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	3,20
3,30	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	3,30
3,40	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	3,40
3,50	0,0769	0,0765	0,0761	0,0757	0,0752	0,0748	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	3,50
3,60	0,0728	0,0724	0,0721	0,0717	0,0713	0,0709	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	3,60
3,70	0,0691	0,0687	0,0683	0,0680	0,0676	0,0673	0,0669	0,0666	0,0663	0,0659	3,70
3,80	0,0656	0,0652	0,0649	0,0646	0,0643	0,0639	0,0636	0,0633	0,0630	0,0627	3,80
3,90	0,0623	0,0620	0,0617	0,0614	0,0611	0,0608	0,0605	0,0602	0,0599	0,0596	3,90
4,00	0,0594	0,0591	0,0588	0,0585	0,0582	0,0579	0,0577	0,0574	0,0571	0,0568	4,00
4,10	0,0566	0,0563	0,0560	0,0558	0,0555	0,0552	0,0550	0,0547	0,0545	0,0542	4,10
4,20	0,0540	0,0537	0,0535	0,0532	0,0530	0,0527	0,0525	0,0523	0,0520	0,0518	4,20
4,30	0,0516	0,0513	0,0511	0,0509	0,0506	0,0504	0,0502	0,0500	0,0497	0,0495	4,30
4,40	0,0493	0,0491	0,0489	0,0486	0,0484	0,0482	0,0480	0,0478	0,0476	0,0474	4,40
4,50	0,0472	0,0470	0,0468	0,0466	0,0464	0,0462	0,0460	0,0458	0,0456	0,0454	4,50
4,60	0,0452	0,0450	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	0,0441	0,0439	0,0437	0,0435	4,60
4,70	0,0433	0,0432	0,0430	0,0428	0,0426	0,0424	0,0423	0,0421	0,0419	0,0418	4,70
4,80	0,0416	0,0414	0,0412	0,0411	0,0409	0,0407	0,0406	0,0404	0,0403	0,0401	4,80
4,90	0,0399	0,0398	0,0396	0,0395	0,0393	0,0392	0,0390	0,0388	0,0387	0,0385	4,90
5,00	0,0384	0,0382	0,0381	0,0379	0,0378	0,0376	0,0375	0,0374	0,0372	0,0371	5,00

F1.1. táblázat (folyt.): Az „a" kihajlási görbe táblázata χ értékei $\overline{\lambda}$ függvényében.

4-5. táblázat. Kihajlási görbe táblázatok [Dunai, Horváth 2007]

Bizonyos esetekben előfordulhat, hogy nem a kihajlás a mértékadó:

Ha az alábbi két feltétel közül valamelyik teljesül, akkor a szilárdsági tönkremenetel lesz a mértékadó, a kifordulási hatás elhanyagolható:

$$\bar{\lambda} \le 0{,}2 \quad \text{vagy} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \le 0{,}04$$

ahol: $\bar{\lambda}$ – viszonyított karcsúság;

N_{Ed} – a mértékadó teher;

N_{cr} – a kritikus erő.

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{(\nu \cdot L)^2}$$

ahol: N_{cr} – a kritikus erő;

E – rugalmassági modulus;

I – inercianyomaték;

ν – befogási tényező;

L – a szerkezeti elem teljes hossza.

Mintapélda: AGYU: 3.9 Példa, 3.10 Példa, 3.11 Példa, 3.12 Példa

Felhasznált irodalom

DR. IVÁNYI MIKLÓS: *Acélszerkezetek tervezése Eurocode 3 szerint.* Elektronikus jegyzet, Budapest, é.n.

DUNAI LÁSZLÓ, HORVÁTH LÁSZLÓ, KOVÁCS NAUZIKA, VARGA GÉZA, VERŐCI BÉLA, VIGH L. GERGELY: *Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint, gyakorlati útmutató.* Budapest, 2007

DUNAI LÁSZLÓ, HORVÁTH LÁSZLÓ, KOVÁCS NAUZIKA, VARGA GÉZA, VERŐCI BÉLA, VIGH L. GERGELY: *Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint, gyakorlati útmutató.* Budapest, 2009

GRÜN TAMÁS: *Acélszerkezetek I. Nyomott elemek kihajlása. A kihajlási hosszak értelmezése. 4. gyakorlat.* Elektronikus jegyzet, Pécs, 2013