



Acélszerkezetek II.

2. előadás

Oldalirányban nem megtámasztott gerendák
viselkedése, kifordulás jelensége, horpadási
jelenségek

Szabó Imre Gábor

Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Kar

Építőmérnök Tanszék

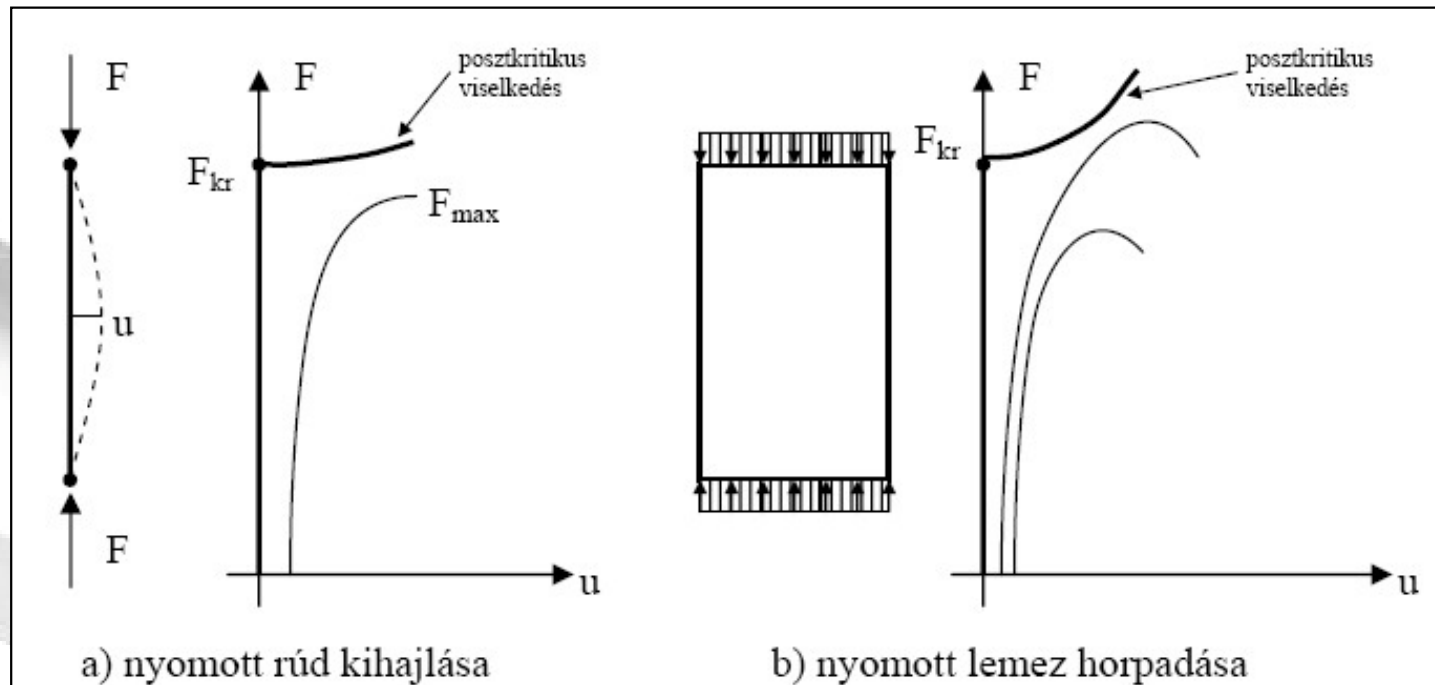
1. Stabilitási ellenállás

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.

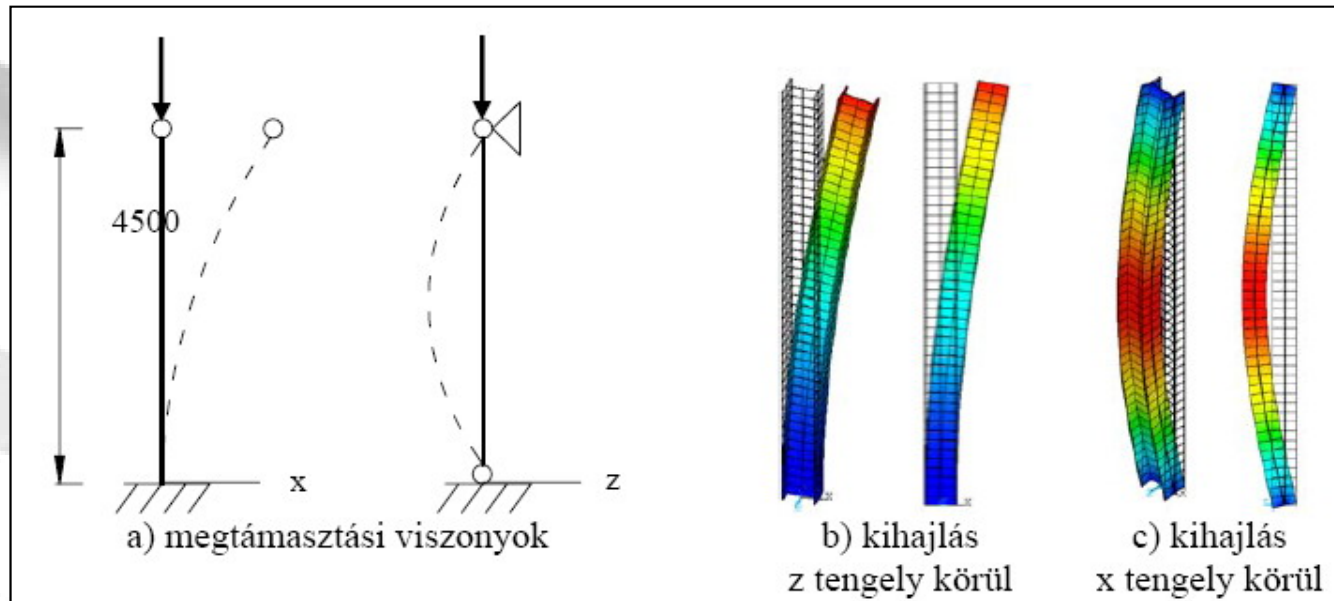
A további stabilitási jelenségekről bővebb útmutatással szolgál a kiadott segédlet (Dunai László, Horváth László, Kovács Nauzika, Varga Géza, Verőci Béla, Vigh L. Gergely: *Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint, gyakorlati útmutató*. Budapest, 2007. 39. oldaltól).

		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			
köölcsönhatások					

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

1.1 Síkbeli rúdkihajlás

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



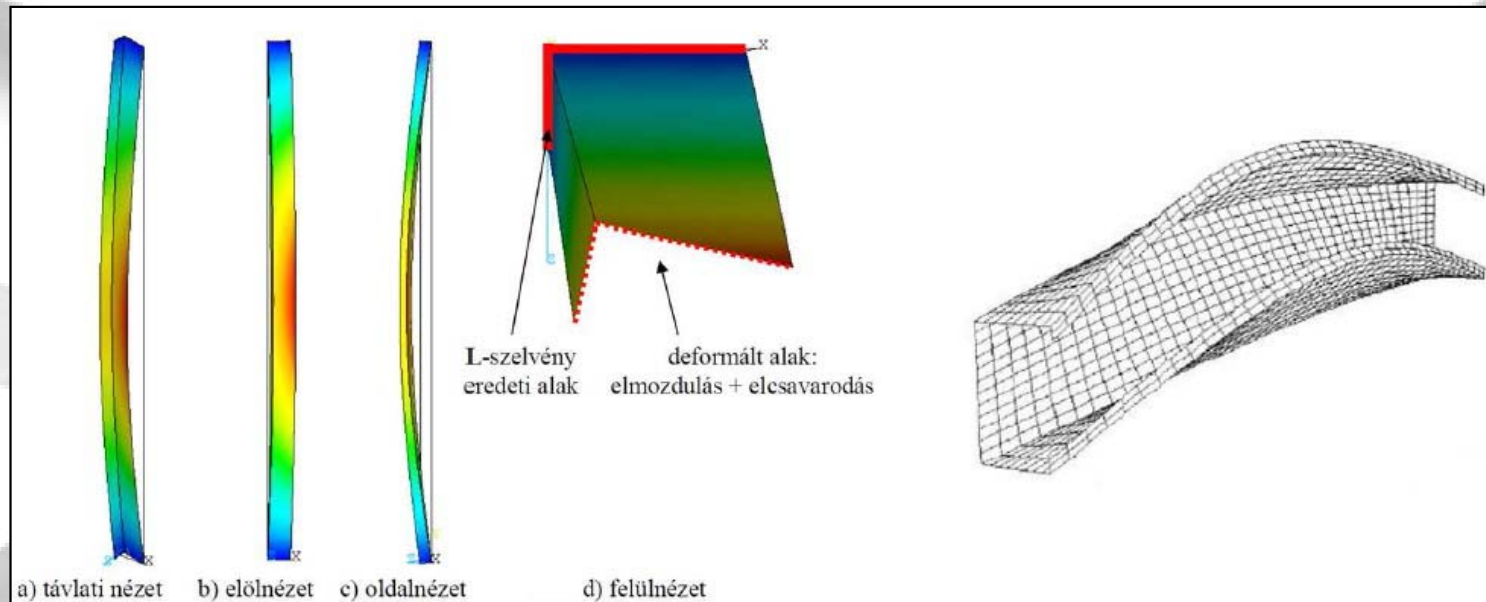
2. ábra. Síkbeli rúdkihajlás [Dunai, Horváth 2007]

Függ:

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

1.2 Térbeli rúdkihajlás

Vékonyfalú nyitott szelvények esetén a központosan nyomott rúd kihajlása nem síkbeli, hanem térbeli elcsavarodó kihajlás, amely során nemcsak a rúdtengely görbül meg, de a keresztmetszet is elfordul.



3. ábra. Térbeli rúdkihajlás [Dunai, Horváth 2007]

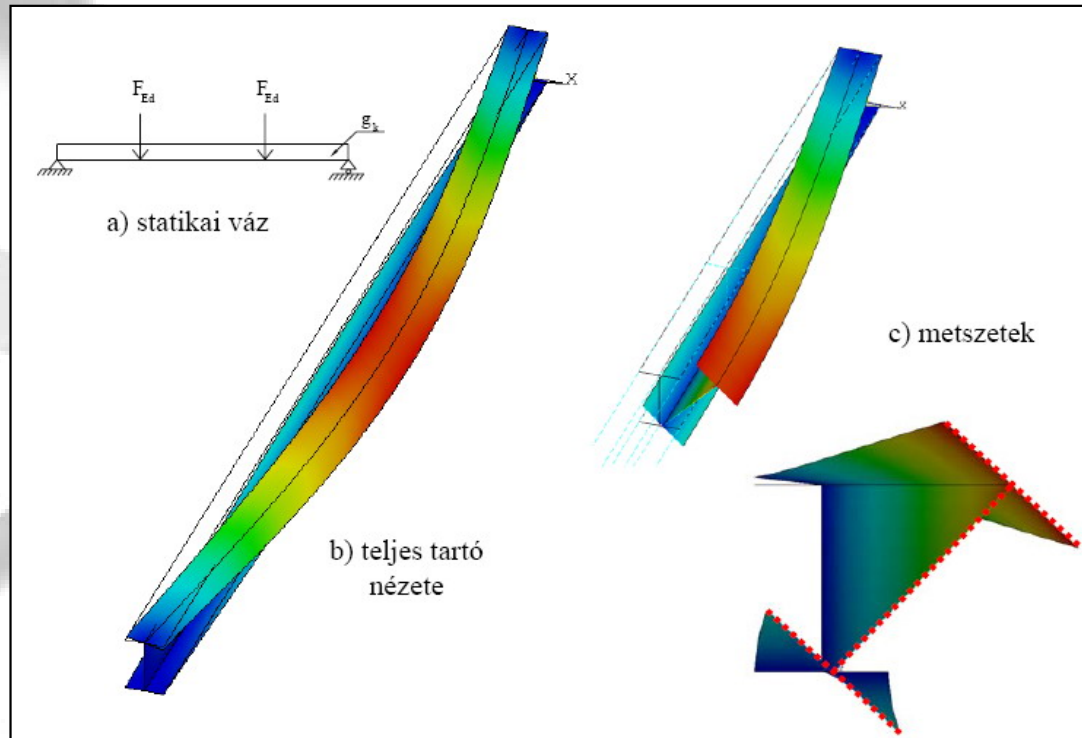
Függ:

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

1.3 Rúdkifordulás

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

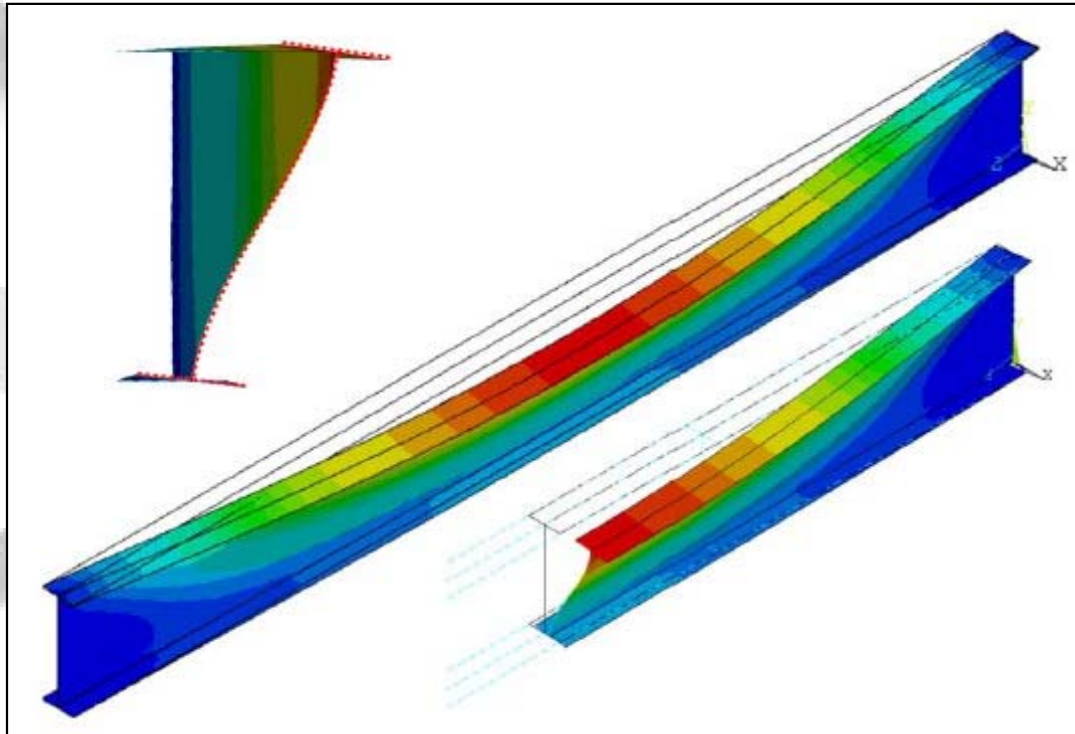
Alaktartó kifordulás: a keresztmetszet elcsavarodik, de nem torzul.



4. 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.

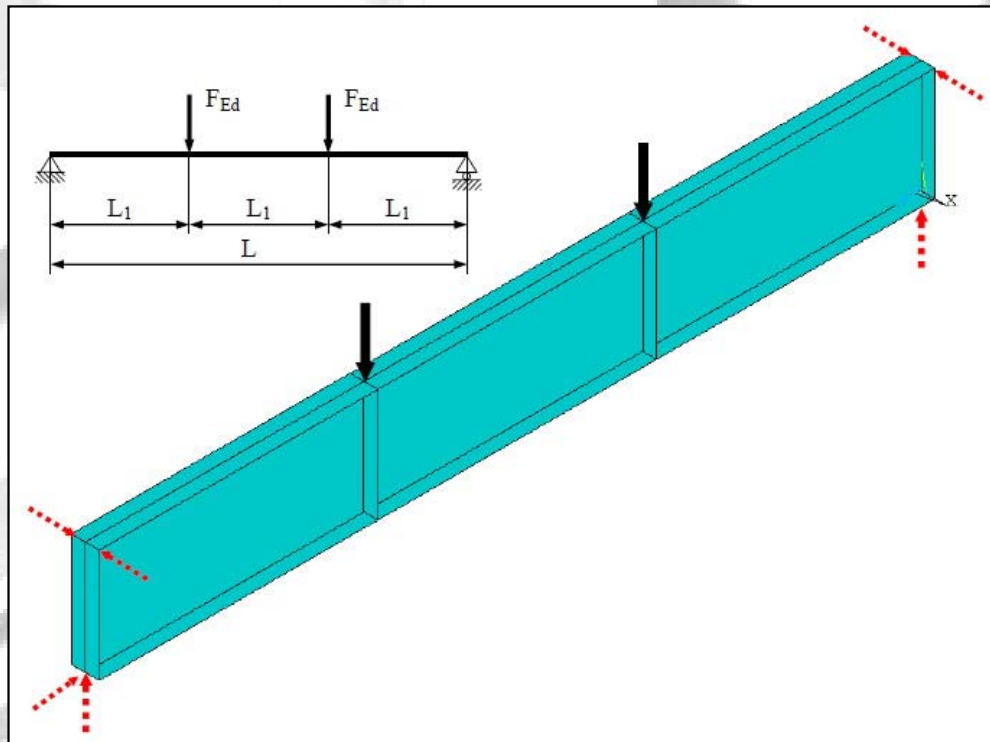


5. ábra. Rúdkifordulás – nem alaktartó keresztmetszet [Dunai, Horváth 2007]

1.4 Lemezhorpadás (lokális horpadás)

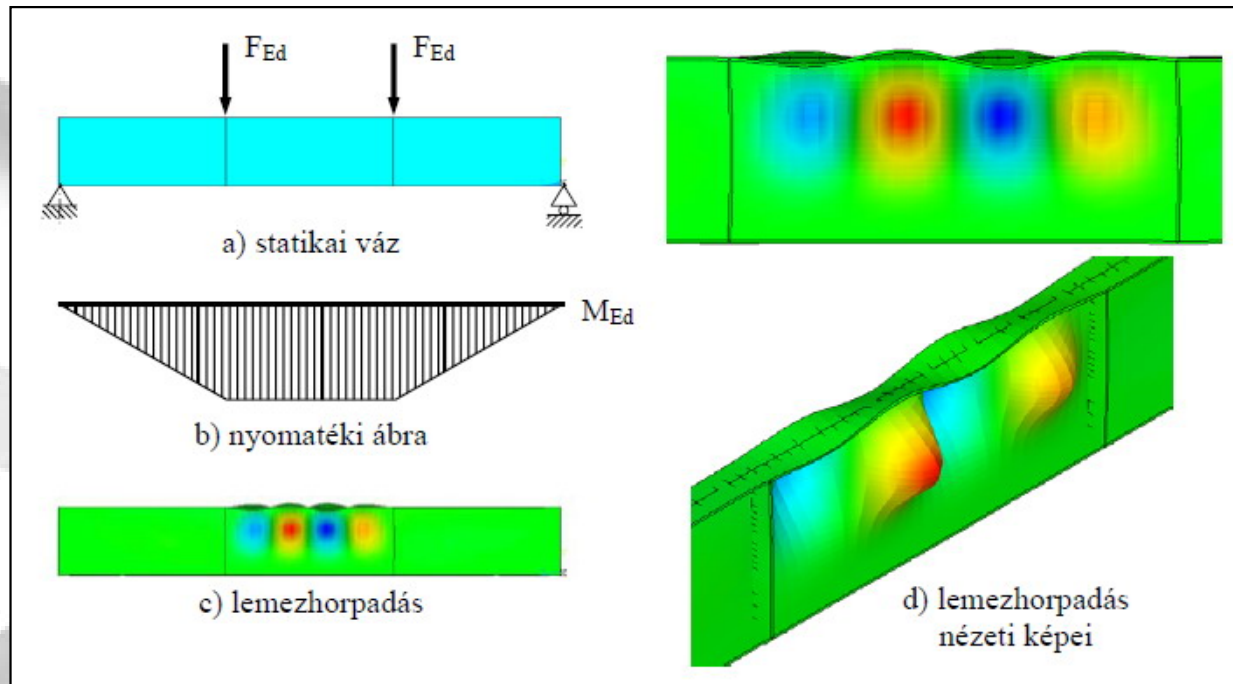
Az egyes alkotó lemezekben nyomás illetve nyírás hatására lemezhorpadás keletkezhet.

Például két koncentrált erővel terhelt „I” szelvényű hajlított gerenda esetében az övben, illetve a gerinclemezben a nyomásból vagy a hajlításból származó rúdtengely irányú feszültségek hatására a lemezekben a rúdtengellyel párhuzamos hullámok képében jelenik meg a lemezhorpadás.



6. ábra. Hegesztett gerenda terhelése koncentrált erőkkel [Dunai, Horváth 2007]

A két koncentrált erő közötti gerinclemez mező tisztán hajlított, a legnagyobb nyomaték itt keletkezik. A felső öv tisztán nyomott, abban szintén keletkezhetsz lemezhorpadás.

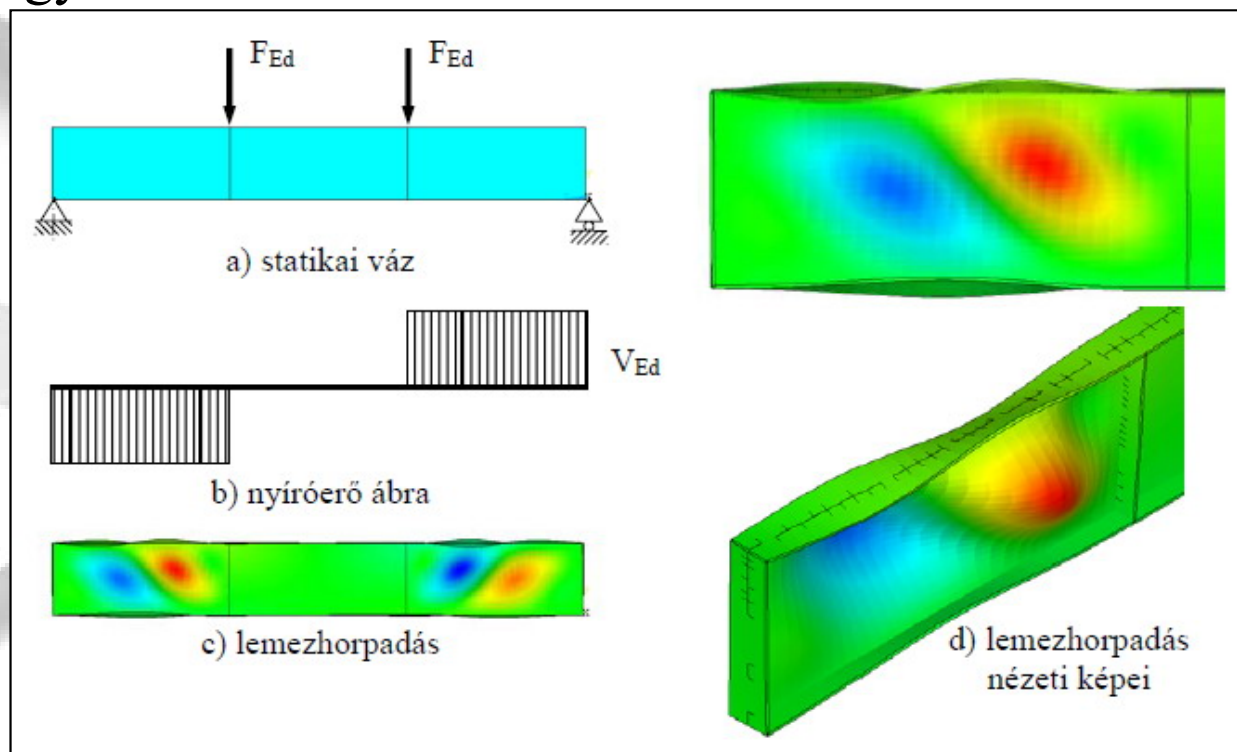


7. ábra. Hajlított gerinclemez horpadása [Dunai, Horváth 2007]

Függ:

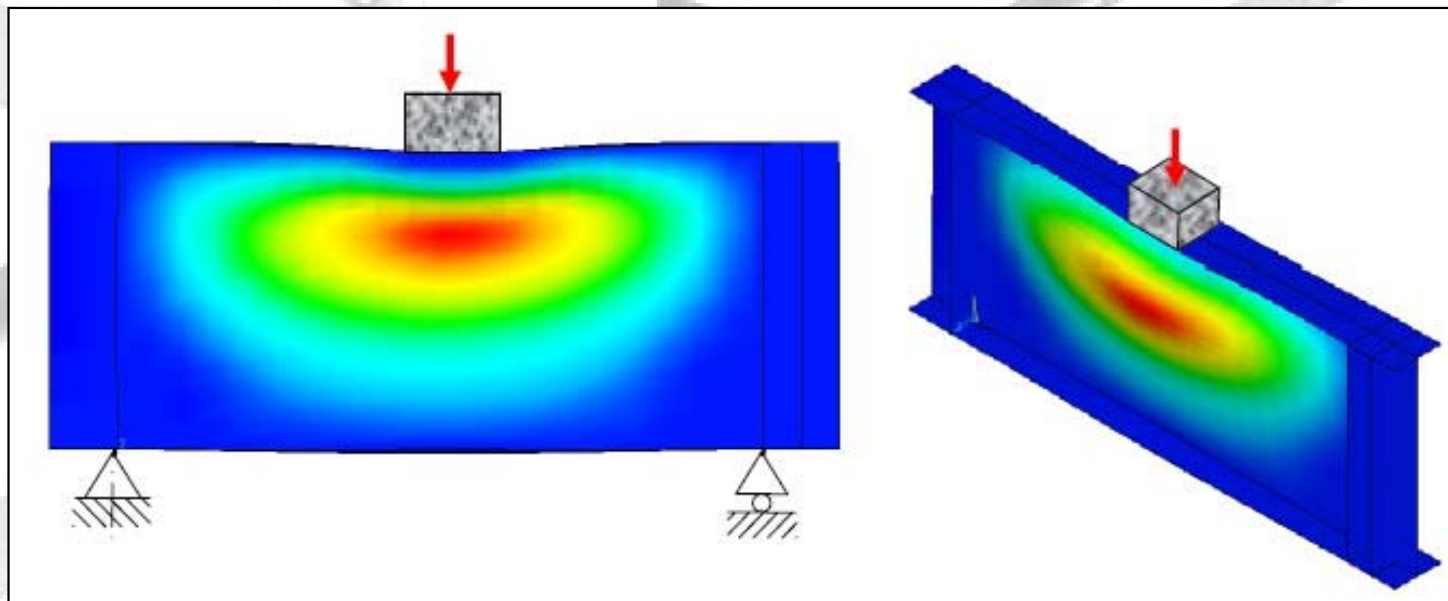
- a lemez geometriai méreteitől,
- a lemezvastagságtól,
- a feszültségeloszlástól (nyomott/hajlított),
- a megtámasztási viszonyoktól (hány oldalán van megtámasztva, kapcsolódó elemek, pl. övlemez merevsége, stb.)

A függőleges értelmű nyírást a gerinclemez veszi fel. A nyírás hatására jellegzetes, ferde hullámok jönnek létre a gerincben. A fenti példában a szélső lemezmezőkben van csak nyíróerő, nyírási horpadás így ott keletkezhet.



8. ábra. Nyírt gerinclemez lemezhorpadása [Dunai, Horváth 2007]

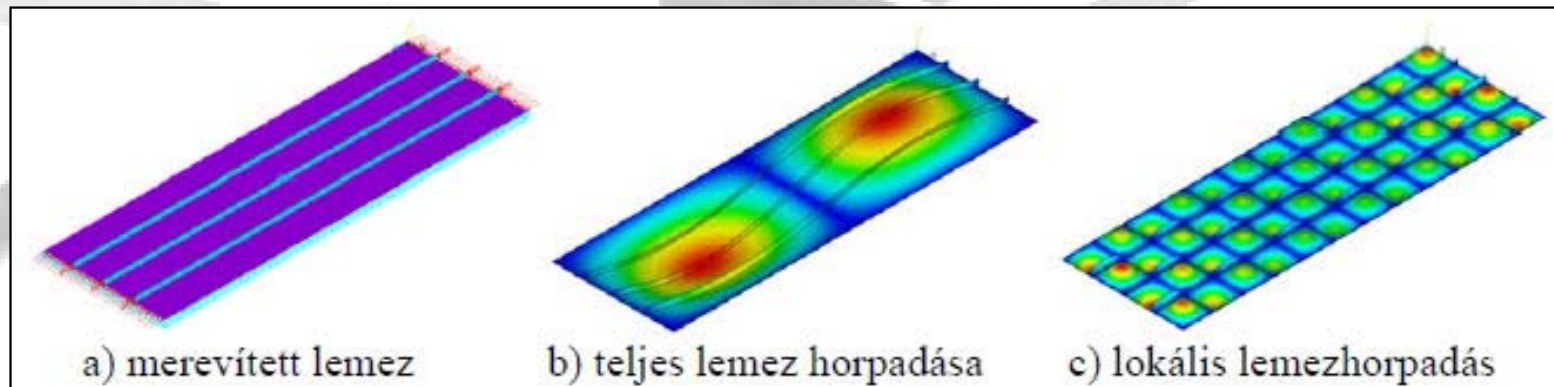
Előfordulhat olyan eset is, amikor nemcsak a hosszirányú, de arra merőleges, ún. *keresztirányú feszültségek* is ébrednek egy-egy lemezben. Ennek egy speciális fajtája a nagy koncentrált (vagy kis hosszon kiterjedő) erők bevezetésének környezete. Ilyen ún. *közvetlenül terhelt lemez* jellemzően például a támaszok környezetében a gerinclemez, darupályatartóknál a darukerék alatti gerinclemezmező. Ezen koncentrált erők alatt a gerinclemez beroppanhat, ha nincs függőleges értelemben merevítve.



9. ábra. Beroppanás erőbevezetés alatt [Dunai, Horváth 2007]

A lemezhorpadás merevített lemezek esetén is létrejöhet, de ekkor kétféleképpen: teljes merevített lemezben (10. ábra, „b” eset) vagy amennyiben a merevítőbordák kellően merevek, a bordák között (10. ábra, „c” eset).

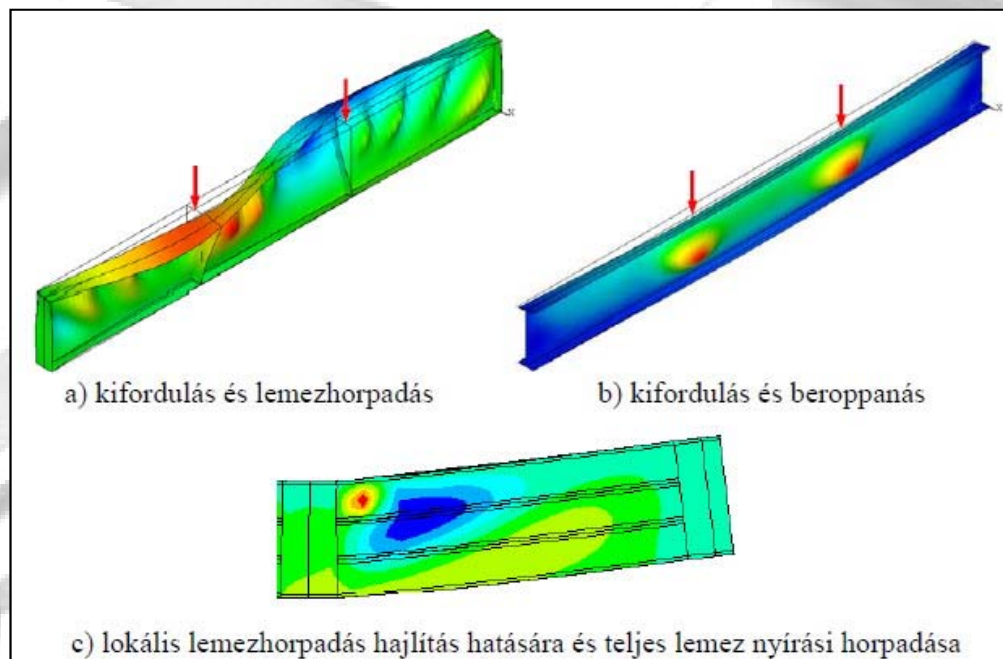
A merevítőbordák alkalmazásával, a lemez vastagítása nélkül nagyobb stabilitás érhető el. A függőleges bordák tervezésekor mindig arra kell törekedni, hogy a horpadás csak a bordák között jöhessen létre. Vízszintes merevítés esetén számos esetben elegendőek a nem merev-bordák is.



10. ábra. Négy szélén megtámasztott, merevített lemez teljes és lokális lemezhorpadása egyenletes nyomás esetén [Dunai, Horváth 2007]

Az egyes stabilitásvesztési módok kölcsönhatásba (interakcióba) is léphetnek egymással. Például egy gerinclemezes tartó lemezhorpadása interakcióba léphet a teljes rúd globális rúdkifordulásával (11. ábra. „a” és „b” eset).

A lokális módok is kombinálódhatnak pl. hajlított-nyírt gerinclemez különböző lemezhorpadásai (11. ábra. „c” eset). Némely esetben a kölcsönhatásba lépő módok gyengíthetik egymás hatását (tehát kedvezőbb teherbírást is eredményezhet), vagy éppen semmilyen hatással sincsenek egymásra. Általában azonban erősítik egymást, ezért különösen fontos az interakciók vizsgálata.



11. ábra. Stabilitási jelenségek kölcsönhatása [Dunai, Horváth 2007]

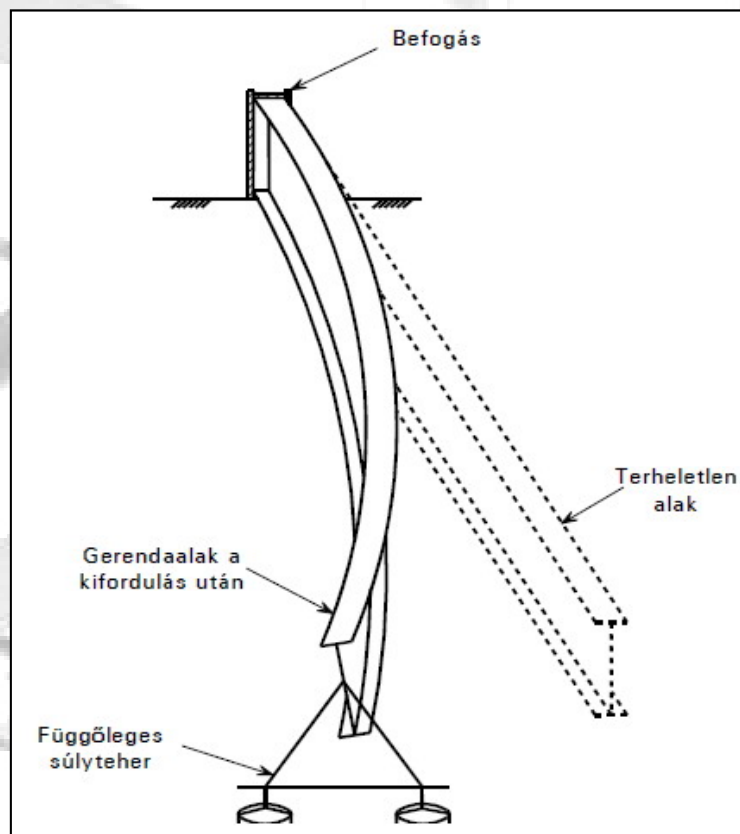
Acélszerkezetek esetén a stabilitásvizsgálat sohasem a rugalmas stabilitástan eszköztárával levezethető kritikus feszültségek és igénybevételek alapján történik. Ennek az az oka, hogy a rugalmas stabilitástan tökéletesen rugalmas anyagi viselkedést tételez fel, valamint abból indul ki, hogy a vizsgálandó szerkezeti elem tökéletes, *imperfekcióktól* mentes, azaz tökéletesen egyenes, vagy sík geometriájú, sajátfeszültségektől 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. Oldalirányban nem megtámasztott gerendák

Amikor egy karcsú szerkezeti elemet a nagyobb merevségű síkjában terhelünk, mindig fennáll annak lehetősége, hogy egy hajlékonyabb síkban tönkremenetel következik be. Erős tengelyük körül hajlított gerendák esetében ez a tönkremenetel *kifordulás* formájában jelentkezhet, ami a gerenda oldalirányú alakváltozásával és elcsavarodásával jár együtt. Ezt a jelenséget szemlélteti az *12. ábra* egy karcsú, a végén függőleges erővel terhelt konzoltartón.



12. ábra. Karcsú konzoltartó kifordulása [Iványi 2007]

Ha a konzol tökéletesen egyenes, a keresztmetszet pedig sajátfeszültségektől mentes és tökéletesen rugalmas lenne, akkor a konzol vége csak függőlegesen mozdulna el és oldalirányú alakváltozást mindaddig nem tapasztalnánk, amíg a nyomaték el nem ér egy kritikus értéket, amelynél a gerenda oldalirányú elmozdulás és elcsavarodás kíséretében kifordul.

A gerendák kifordulásra való méretezésére alkalmas eljárásnak szükségszerűen sokféle tényezőt kell figyelembe vennie:

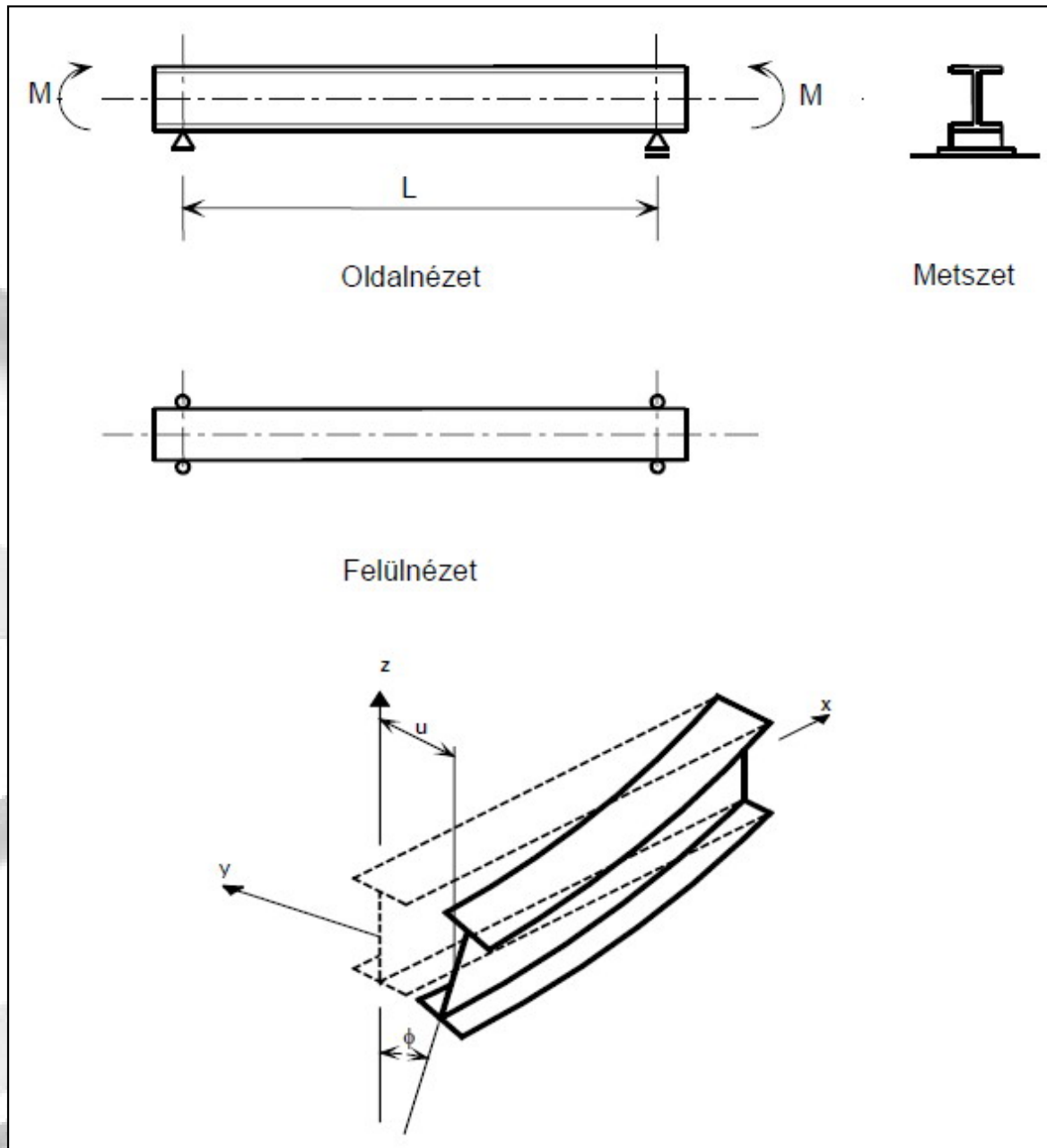
- szelvény alakját,
- az oldalirányú megtámasztások mértékét,
- a teher típusát,
- a gyártási sajátfeszültségek eloszlását,
- kezdeti imperfekciókat.

Ennek megfelelően a méretezési eljárás viszonylag összetett. Érdeemes tehát először egy egyszerű alapmodellt vizsgálni, amelyet aztán továbbfejlesztve kiterjeszhetünk az általánosabb esetekre.

2.1 Kéttámaszú gerenda rugalmas kifordulása

A 13. ábra egy kezdetben egyenes, tökéletesen rugalmas, „I” keresztmetszetű gerendát mutat, amelyet két végén egy-egy, az erősebb síkban (azaz a gerinc síkjában) működő, egyenlő nagyságú, de ellentétes értelmű nyomaték terhel. A gerenda oldalirányban nincs megtámasztva, kivéve a végeinél, ahol a támaszok megakadályozzák a keresztmetszetek elcsavarodását és oldalirányú elmozdulását, de megengedik az elfordulást a gerinc síkjában és arra merőlegesen is.

Az ábrán látható a tartó kifordult alakja és a bekövetkező elmozdulások (az ábrán csak a gerenda fele szerepel, az elmozdulások a középső keresztmetszetre vonatkoznak).



13. ábra. Állandó nyomatékkal terhelt, kéttámaszú, „I” szelvényű gerenda kifordulása [Iványi 2007]



A kihajlást okozó nyomatékot meghatározhatjuk, ha figyelembe vesszük, hogy a végnyomatékok kifordult alakon működő zavaró hatása egyenlő a keresztmetszet belső (hajlítási és csavarási) ellenállásával.

A végnyomaték kritikus értékére, az M_{cr} rugalmas kritikus nyomatékra a következő összefüggés adódik:

$$M_{c,Rd} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} \cdot \left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} \right]^{0,5}$$

ahol: $M_{c,Rd}$ – a rugalmas kritikus nyomaték;

E – rugalmassági modulus;

G – nyírási modulus;

I_z – a gyenge tengelyre vonatkozó tehetetlenségi nyomaték;

I_w – a torzulási modulus;

I_t – a csavarási tehetetlenségi nyomaték;

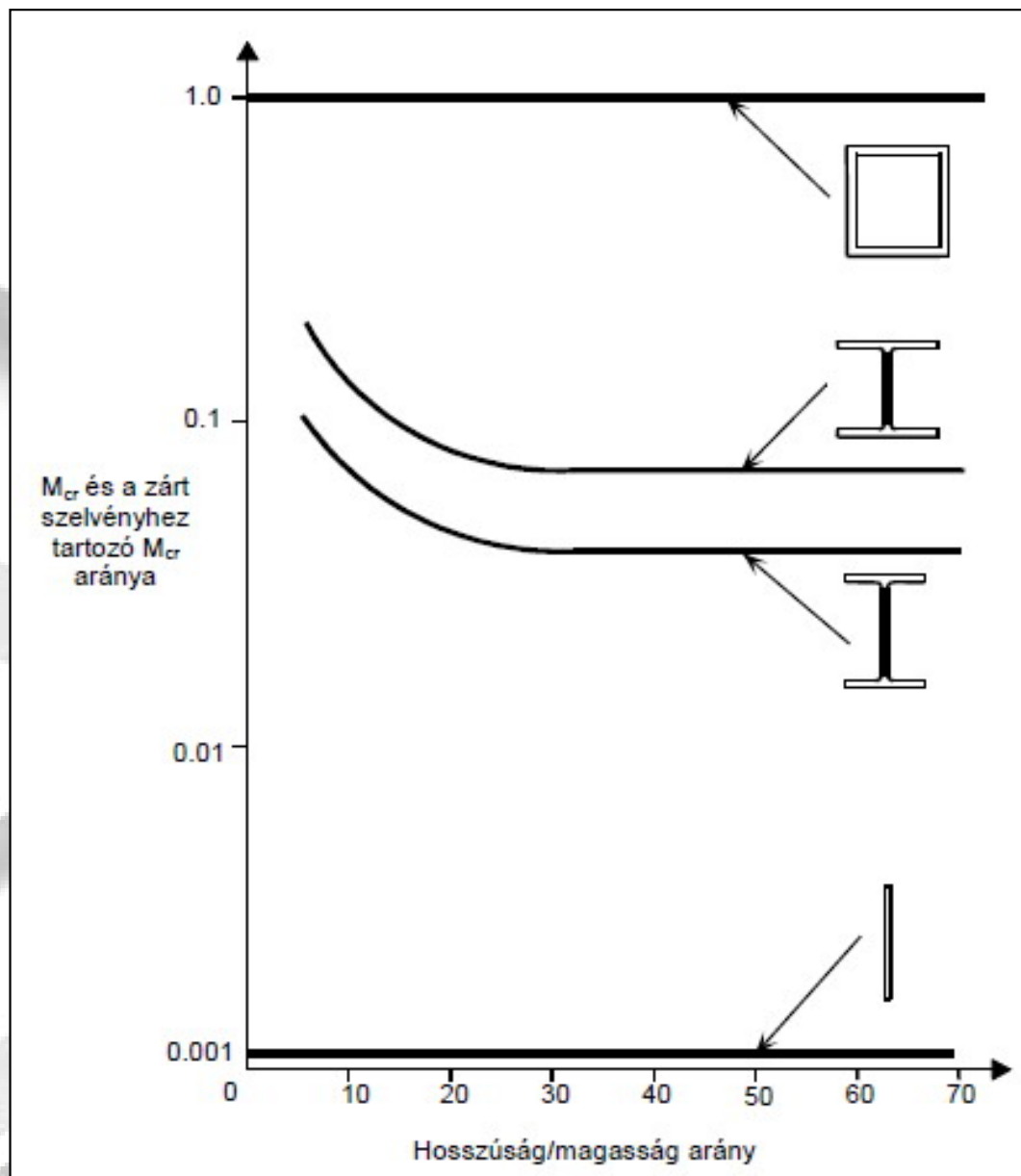
L – a gerenda megtámasztások közötti hossza.



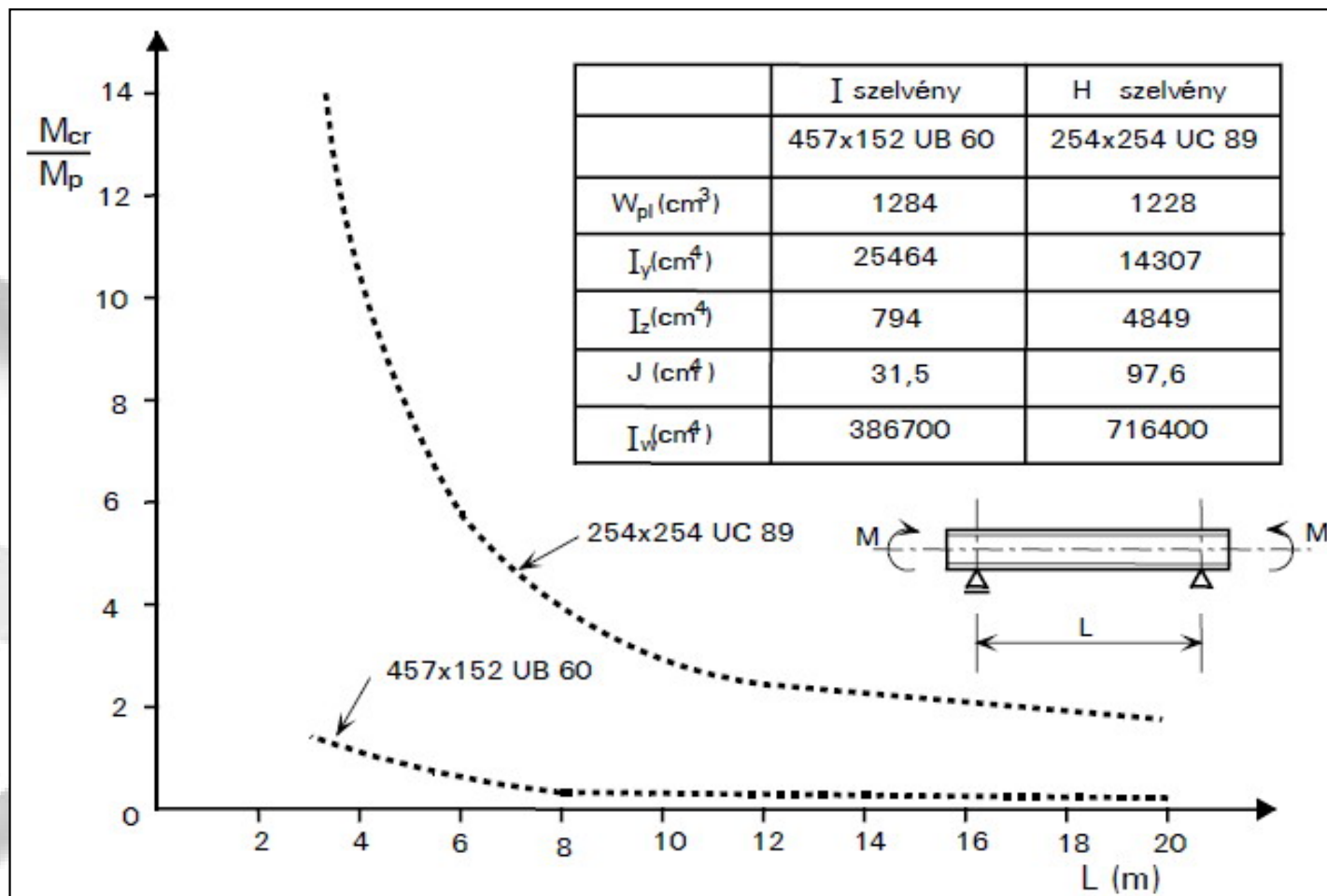
Az, hogy az EI_z hajlítási merevség és a GI_t és EI_w csavarási merevségek megjelennek az egyenletben, a kifordulással járó deformációk oldalirányú és csavarási komponenseinek a közvetlen következménye.

A keresztmetszet típusa tükröződni fog e tényezők egymáshoz viszonyított jelentőségében. Ezt mutatja a *14. ábra*, amely összehasonlítja a nagy hajlítási és csavarási merevséggel rendelkező zárt szelvények, és különböző alakú nyitott szelvények rugalmas kritikus nyomatékát.

A *15. ábra* egy „I” és egy „H” keresztmetszetű, hasonló képlékeny nyomatéki teherbírással rendelkező tartó rugalmas kritikus nyomatékait hasonlítja össze. A kifordulás sokkal inkább meghatározó az „I” szelvényű tartó méretezésében, melynek jelentősen kisebb az oldalirányú és csavarási merevsége.



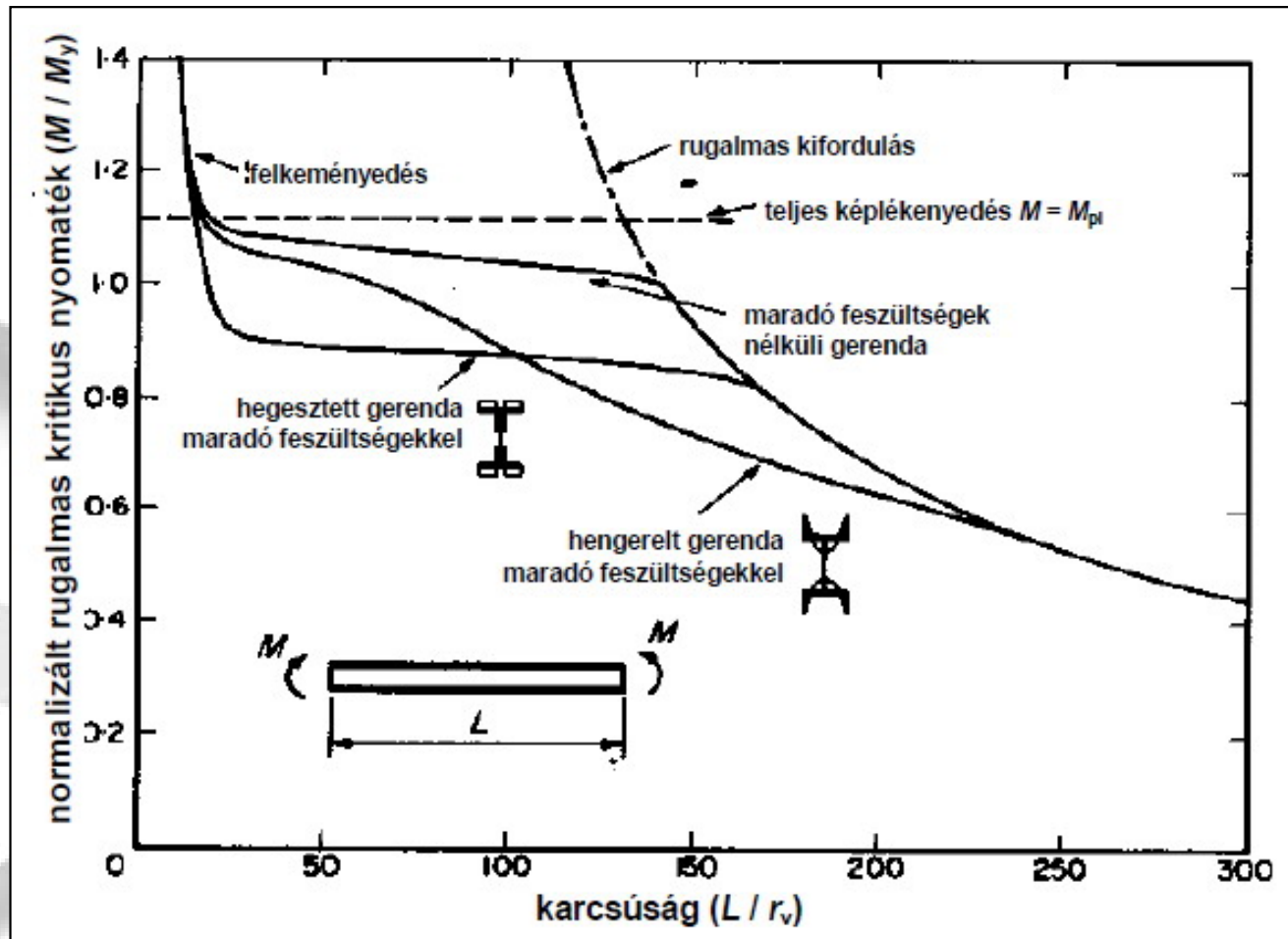
14. ábra. A keresztmetszet alakjának hatása az elméleti rugalmas kritikus nyomatékra [Iványi 2007]



15. ábra. "I"- és „H-szelvények” rugalmas kritikus nyomatékainak összehasonlítása [Iványi 2007]

2.2 Méretezési eljárás

A valóságos gerendák nem tökéletesen egyenesek és anyaguk sem tökéletesen rugalmas. Az *16. ábra* bemutatja a gyártási sajátfeszültségek és a felkeményedés hatását a kifordulási ellenállásra. Meg kell jegyezni, hogy a rugalmas kifordulási elmélet nagy karcsúság esetén jól leírja a viselkedést, de zömökebb gerendák esetén bonyolult kölcsönhatás lép fel, mivel a nem rugalmas viselkedés csökkenti a teherbírást, míg nagyon zömök gerendáknál a teherbírást a keresztmetszet képlékeny ellenállása határozza meg. A probléma elméleti kezelése túlságosan bonyolult lenne a mindennapi tervezésben, ezért a rugalmas elmélet és a kísérleti eredmények együttes alkalmazása szükséges a megbízható (biztonságos) méretezési eljárás kidolgozásához.



16. ábra. Kéttámaszú „I” gerendák kifordulási szilárdsága [Iványi 2007]

A 17. ábra a kifordulásra vonatkozó jellegzetes kísérleti adatokat hasonlítja össze a kéttámaszú gerenda rugalmas kifordulására felírt képlettel meghatározott elméleti rugalmas kritikus nyomatékokkal.



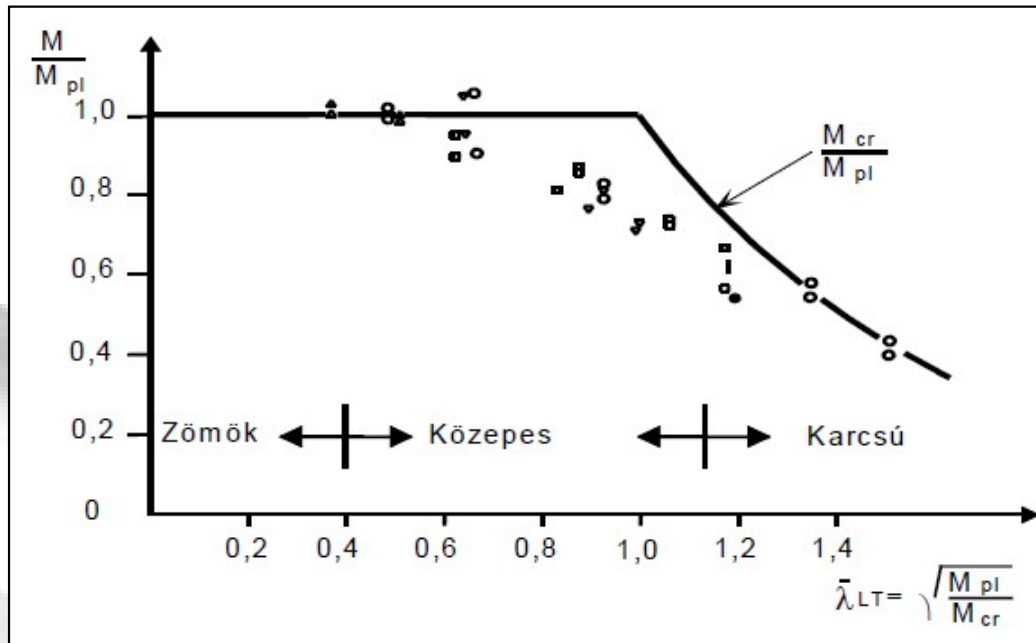
Az ábra dimenziótlan formában adja meg a teherbírást, ami lehetővé teszi különböző keresztmetszetekkel és anyagminőségekkel végrehajtott kísérletsorozatok eredményeinek közvetlen összehasonlítását a $\bar{\lambda}_{LT}$ redukált karcsúságon keresztül.

Zömök gerendák ($\bar{\lambda}_{LT} < 0,4$) esetén a kifordulás nincs hatással a viselkedésre, ilyenkor a keresztmetszet képlékeny nyomatéki ellenállása határozza meg a gerenda teherbírását.

A karcsú gerendák ($\bar{\lambda}_{LT} > 1,2$) teherbírása közel van az M_{cr} elméleti rugalmas kritikus nyomatékhoz.

Közepes karcsúságú gerendáknál azonban, amelyek a gyakorlatban sokszor előfordulnak, a teherbírást jelentősen és kedvezőtlenül befolyásolja a geometriai imperfekciók jelenléte és a nem rugalmas anyagi viselkedés, és a rugalmas elméletből adódó megoldás a teherbírás felső korlátját jelenti.

Szükség van egy olyan méretezési összefüggésre, amely mind a zömök gerendák képlékeny viselkedését, mind pedig a karcsú gerendák rugalmas viselkedését magában foglalja. Az EC3 ezt a χ_{LT} kifordulási csökkentő tényező bevezetésével valósítja meg.



17. ábra. Kísérleti eredmények összehasonlítása az elméleti rugalmas kritikus nyomatékkal [Iványi 2007]

Az oldalirányban nem megtámasztott gerendák $M_{b,Rd}$ kifordulási nyomatéki tervezési ellenállása a következő összefüggéssel adható meg:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

ahol: $M_{b,Rd}$ – a kifordulási ellenállás;

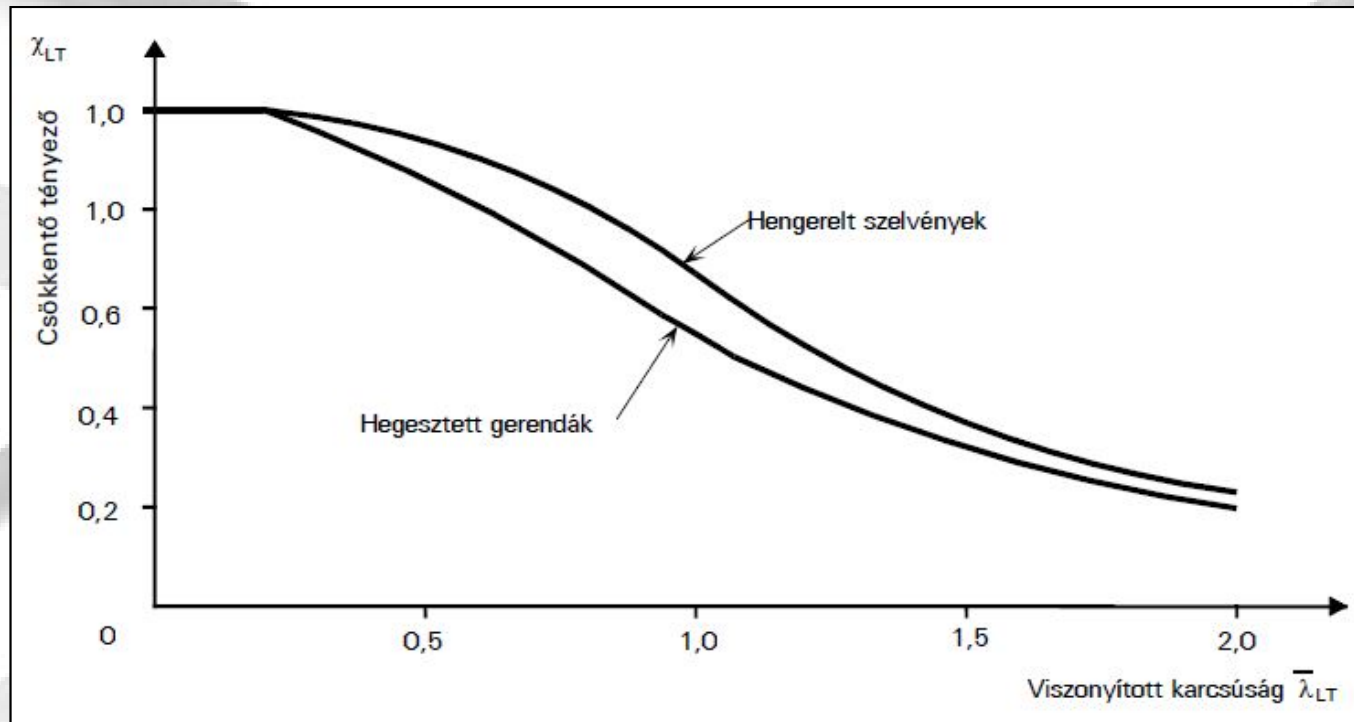
χ_{LT} – kifordulási csökkentő tényező;

W – keresztmetszeti modulus (1. és 2. osztályú szelvény esetén W_{pl} , 3. osztály esetén W_{el} , 4. osztály esetén W_{eff});

f_y – az anyag folyáshatár értéke;

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

A χ_{LT} kifordulási csökkentő tényező és a $\bar{\lambda}_{LT}$ redukált karcsúság közötti összefüggést mutatja a 18. ábra:



18. ábra. A kifordulási csökkentő tényező [Iványi 2007]

A bemutatott görbéket a következő összefüggéssel lehet megadni:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + (\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2)^{0,5}}$$

ahol: χ_{LT} – kifordulási csökkentő tényező;

Φ_{LT} – csökkentő tényező;

$\bar{\lambda}_{LT}$ – redukált karcsúság.

A csökkentő tényező kiszámítása:

$$\Phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2}{2}$$

ahol: Φ_{LT} – csökkentő tényező;

α_{LT} – alakhiba-tényező (imperfekciós tényező);

$\bar{\lambda}_{LT}$ – redukált karcsúság.

Az α_{LT} imperfekciós tényező értéke hengerelt szelvényekre 0,21, míg hegesztett szelvényekre nagyobb gyártási sajátfeszültségeik miatt 0,49.



A $\bar{\lambda}_{LT}$ redukált karcsúság a következő összefüggéssel definiálható:

$$\sqrt{\frac{M_{pl,Rd}}{M_{cr}}}$$

Kiszámítása a képlékeny nyomatéki ellenállás és a rugalmas kritikus nyomaték meghatározásával, vagy a következő összefüggés segítségével történhet:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left[\frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right] \cdot \beta_w^{0,5}$$

ahol: λ_1 – anyagjellemző, mely 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: $\lambda_1 = 67,1$

2.3 Az eljárás kiterjesztése más esetekre

Az oldalirányban nem megtámasztott gerendák kifordulása szempontjából az állandó nyomatéki igénybevétel a legkedvezőtlenebb. Más terhelési esetekre való rugalmas vizsgálat nagyobb rugalmas kritikus nyomatéki értékeket eredményez. Például állandó nyomaték esetén a rugalmas kritikus nyomaték a következő:

$$M_{cr} = \frac{\pi}{L} \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L^2 \cdot G \cdot I_t}}$$

Ugyanakkor egy közepén koncentrált erővel terhelt kéttámaszú gerenda esetén a maximális nyomaték a kifordulás pillanatában:

$$M_{cr} = \frac{4,24}{L} \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t} \cdot \sqrt{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L^2 \cdot G \cdot I_t}}$$

ahol: M_{cr} – kifordulási kritikus nyomaték;

L – a tartó támaszköze (két szomszédos oldalirányú megtámasztás távolsága);

G – a nyírási modulus (acél esetén értéke 8100 kN/cm²);

I_z – a gyenge tengely körüli inercia;

ahol: I_t – egyszerű csavarási inercia, az értéke nyitott vékonyfalú szelvények esetén:

$$I_t = \frac{1}{3} \cdot \sum b_i \cdot t_i^3$$

ahol: – b_i és t_i a szelvényt alkotó lemezek szélességi mérete és vastagsága.

Hengerelt szelvények esetén általában szelvénytáblázatból kivehető adat.

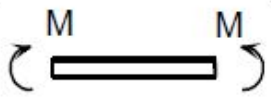

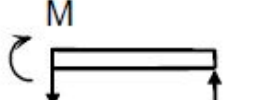

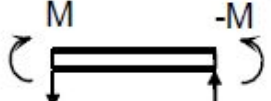

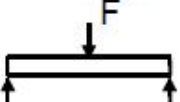

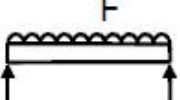

I_w – gátolt csavarási inercia (torzulási, öblösödési modulus), melynek mértékegysége: cm^6 , közelítő képlete kétszeresen szimmetrikus „I szelvényekre”:

$$I_w = \frac{I_z \cdot (h - t_f)^2}{4}$$

Értéke általában szelvénytáblázatból kivehető adat.

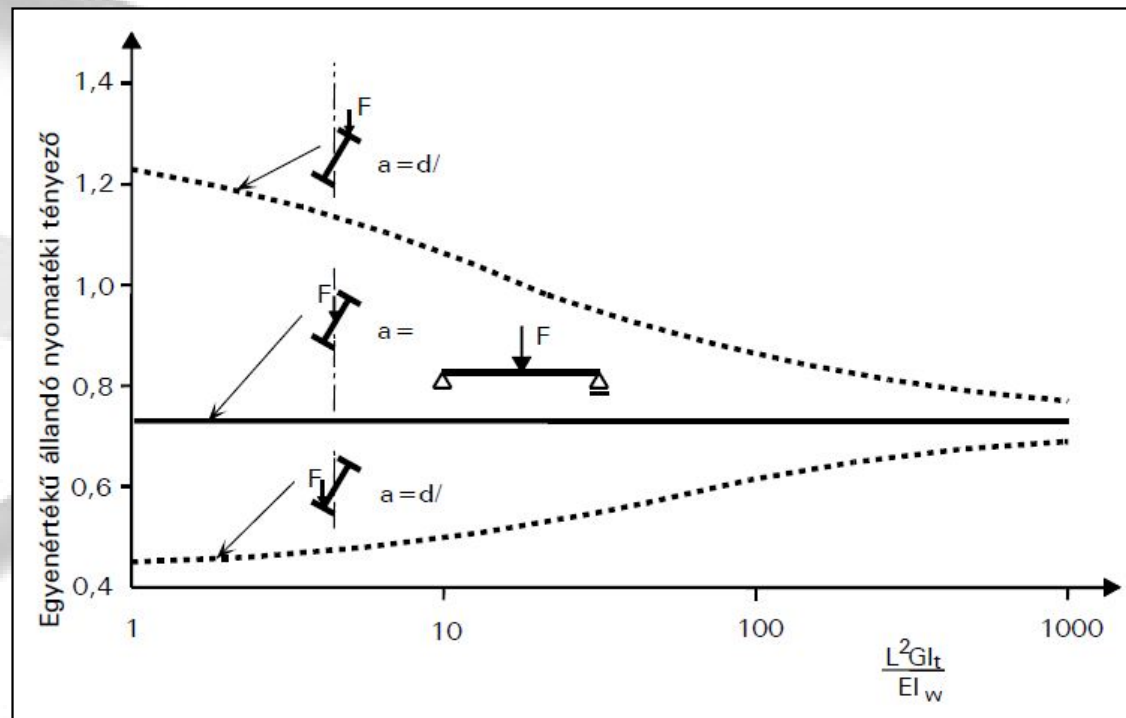
Ez utóbbi $4,24/L$ -szerese az alapesetnek. Az EC3 ezt a hányadost egy C_1 tényező formájában fejezi ki, amely a teherelrendezést (a nyomatéki ábra alakját) veszi figyelembe.

A 2. táblázat néhány terhelési esetre megadja C_1 értékét. Az M_{cr} kritikus nyomatékra vonatkozó összefüggésben C_1 egy egyszerű szorzótényezőként jelenik meg.

$M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{L} \sqrt{EI GJ} \sqrt{1 + \frac{\pi^2 EI_w}{L^2 GJ}}$			
Terhek és reakciók	Nyomatéki ábra	M_{max}	C_1
		M	1,00
		M	1,879
		M	2,752
		$\frac{FL}{4}$	1,365
		$\frac{FL}{8}$	1,132

2. táblázat. A C_1 egyenértékű állandó nyomatéki tényezők (a fenti értékek $k=1,0$ kihajlásihossz-tényező esetén érvényesek [Iványi 2007])

A gerenda oldalirányú stabilitása nemcsak a terhek támaszközön belüli elhelyezkedésétől függ, hanem a teher támadáspontjának a súlyponthoz viszonyított helyzetétől is. A 19. ábra egy közepén koncentrált erővel terhelt kéttámaszú gerendán szemlélteti annak hatását, ha a teher a súlypont felett vagy alatt hat.



19. ábra. A teher támadáspontja helyzetének hatása a gerenda stabilitására [Iványi 2007]

A felső övön ható terheknek destabilizáló hatásuk van, köszönhetően annak a többletnyomatéknak, amely amiatt jön létre, hogy a teher hatásvonala nem megy át a keresztmetszet súlypontján.



Ez a hatás jelentősebbé válik, ha a szelvény magassága nő, vagy ha a támaszköz, illetve az $L^2 \cdot G \cdot I_t / (E \cdot I_w)$ mennyiség csökken. Az EC3 ezt egy C_2 tényező bevezetésével veszi figyelembe.

Az eddigiekben mindig olyan megtámasztást feltételeztünk a gerenda végein, mely meggátolja az oldalirányú elmozdulást és elcsavarodást, de megengedi az elfordulást. Az olyan megtámasztások, amelyek meggátolják az elfordulást, megnövelik a rugalmas kifordulási ellenállást (nagy mértékben hasonlóan az oszlopokhoz, amelyeknek a befogás hatására nő a teherbírása). A különböző megtámasztási viszonyok hatásának figyelembevételére kézenfekvő eljárás a megtámasztás nélküli hosszak egy kihajlási hosszal való helyettesítése, vagy pontosabban két, a hatékony hosszakat definiáló tényező, k és k_w , bevezetése. A két tényező a gerendavég kétféle megfogására utal: az oldalirányú hajlítással és az öblösödéssel szembeni megfogásra. Meg kell azonban jegyezni, hogy k_w tényezőt ajánlatos 1,0-ra felvenni, hacsak az öblösödést külön meg nem akadályozzuk. A k tényezőre az EC3 0,5 értéket ajánl, ha mindkét vég befogott, 0,7 értéket, ha az egyik vég befogott a másik szabad, és természetesen 1,0 -t, ha mindkét vég szabad. k megválasztása a tervező belátása szerint történhet.



Ha a gerenda nyílásán belül közbenső oldalirányú megtámasztások vannak, a megtámasztások közötti szakaszok külön-külön vizsgálhatók, és a méretezés a legkritikusabb szakasz alapján történhet.

A megtámasztások közötti gerendaszakaszok kihajlásihossz-tényezőjére nem 0,7, hanem 1,0 értéket kell használni, minthogy a szomszédos szakaszok a kifordulás során ellentétesen deformálódnak.

Folytatólagos többtámaszú gerendák nyílásait külön-külön lehet vizsgálni, a C_1 tényezővel minden nyílásban figyelembe véve a nyomatéki ábra folytonosságból adódó alakját.



Felhasznált irodalom

DR. IVÁNYI MIKLÓS: *Acélszerkezetek I-II. Oktatási segédlet.* Elektronikus jegyzet, Pécs, 2007

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

DR. IVÁNYI MIKLÓS: *TÁBLÁZATOK Acélszerkezetek méretezéséhez az Eurocode 3 szerint.* Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004.

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

GRÜN TAMÁS: *Acélszerkezetek II. Hajlított elemek kifordulása. Stabilitásvesztési módok.* Elektronikus jegyzet, Pécs, 2013