

A.14. Oldalirányban megtámasztott gerendák

A.14.1. Bevezetés

A gerendák talán a legalapvetőbb szerkezeti elemek. A gerendák különböző típusúak lehetnek és sokféle alakú keresztmetszettel rendelkezhetnek a teherintenzitás és a támaszköz függvényében (A.14.1. táblázat).

Az acélgerendákat gyakran egyszerűen a nyomatéki ellenállás és a merevség alapján lehet tervezni, vagyis azt biztosítani, hogy a választott keresztmetszet tervezési nyomatéki ellenállása legyen legalább akkora, mint az alkalmazott maximális nyomaték, illetőleg a gerenda lehajlása ne legyen olyan mértékű, amely a használhatóságot befolyásolja. Azokat a gerendákat, amelyek oldalirányban nem képesek elmozdulni, „oldalirányban megtámasztott” gerendáknak nevezzük – ezeknél nem jöhet létre a kifordulással járó stabilitásvesztés. A gerendákat oldalirányban megtámasztottnak lehet tekinteni, ha:

A.14.1. táblázat: Különböző célokra alkalmazott jellemző gerendatípusok

sz.	A gerenda típusa	A támaszköz tartománya (m)	Megjegyzések
0.	Szögacélok	3–6	tetőszelemenként, falvázgerendaként stb. alkalmazzák, kisebb terhek esetén
1.	Hidegen alakított szelvények	4–8	tetőszelemenként, falvázgerendaként stb. alkalmazzák, kisebb terhek esetén
2.	Melegen hengerelt szelvények (UB,IPE,UPN,HE)	1–30	a leggyakrabban alkalmazott szelvénytípus, melynek arányait úgy választották meg, hogy számos tönkremeneteli mód ne jöhessen létre
3.	Könnyű rácsos tartók	4–40	előregyártással készül, szögacélok vagy csövek alkotják az öveket, köracélok a húzott rácsrudakat; melegen hengerelt szelvények helyettesítésére szolgálnak
4.	Sejttartók	6–60	nagy támaszközök és/vagy kis terhek esetén alkalmazzák, a szelvény magassága az alapszelvényhez képest 50%-kal nő, a nyílások gépészeti célokra használhatók
5.	Összetett szelvények (pl. IPE+UPN)	5–15	akkor alkalmazzák, ha egyetlen önálló melegen hengerelt szelvény nem elegendő teherbírású; gyakran használják a vízszintes hajlítással szembeni erősítésre is
6.	Hegesztett, nyitott keresztmetszetű gerendák	10–100	3 lemez összehegesztésével készül, 3–4 m-es gerincmagasságig, esetenként merevítések szükségesek
7.	Szekerénytartók	15–200	lemezekből gyártják, általában merevített, jelentős csavarási és keresztirányú merevségi jellemzőik miatt darupályatartókban és hidakban alkalmazzák

- folytonos oldalirányú megtámasztás van, például abban az esetben, amikor a kéttámaszú gerenda felső övéhez teherbíró kapcsolattal csatlakozik egy padlórendszer (sok tervező ilyen teherbíró kapcsolatnak tekinti a beton födémlemez és az acélgerenda között kialakuló súrlódást is);

- a nyomott öv elcsavarodása megfelelően meg van gátolva, például acél profilleméz révén;
- sűrűn elhelyezett merevítő elemek biztosítják, hogy a gyenge tengely síkjában a karcsúság kicsi legyen (a részleteket lásd az oldalirányban nem megtámasztott gerendákról szóló előadásban).

A gyenge tengelyük körül hajlított elemek nem mehetnek tönkre kifordulás útján, és az is valószínűtlen, hogy a nagy csavarási és oldalirányú merevséggel rendelkező szelvények (például a téglalap keresztmetszetű zárt szelvények) ilyen módon menjenek tönkre. Ebben az előadásban megfelelő oldalirányú megtámasztást tételezünk fel. A gyakorlatban a tervező felelőssége, hogy biztosítsa azt a szerkezeti kialakítást, amely ennek a feltételezésnek megfelel.

A.14.2. Nyomatéki ellenállás

Egy egyszerű kéttámaszú gerenda (A.14.1. ábra) tönkremenetele akkor következik be, ha a hajlítónyomaték tervezési értéke (M_{sd}) meghaladja a keresztmetszet tervezési hajlítási ellenállását, amelynek a nagysága függ a szelvény alakjától, az anyagminőségtől, valamint a keresztmetszet osztályától. Azokban az esetekben, amikor a keresztmetszetben működő nyíróerőt elég kicsinek lehet tekinteni ahhoz, hogy a nyomatéki ellenállásra gyakorolt hatását elhanyagoljuk (az EC3 ezt a nyíróerőértéket a képlékeny nyírási ellenállás 50%-ában határozza meg), a keresztmetszet tervezési nyomatéki ellenállását ($M_{c,Rd}$) a következő értékre kell felvenni:

- 1. és 2. osztályba tartozó szelvények esetén a teljes keresztmetszet képlékeny nyomatéki tervezési ellenállására:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}; \quad (\text{A.14.1})$$

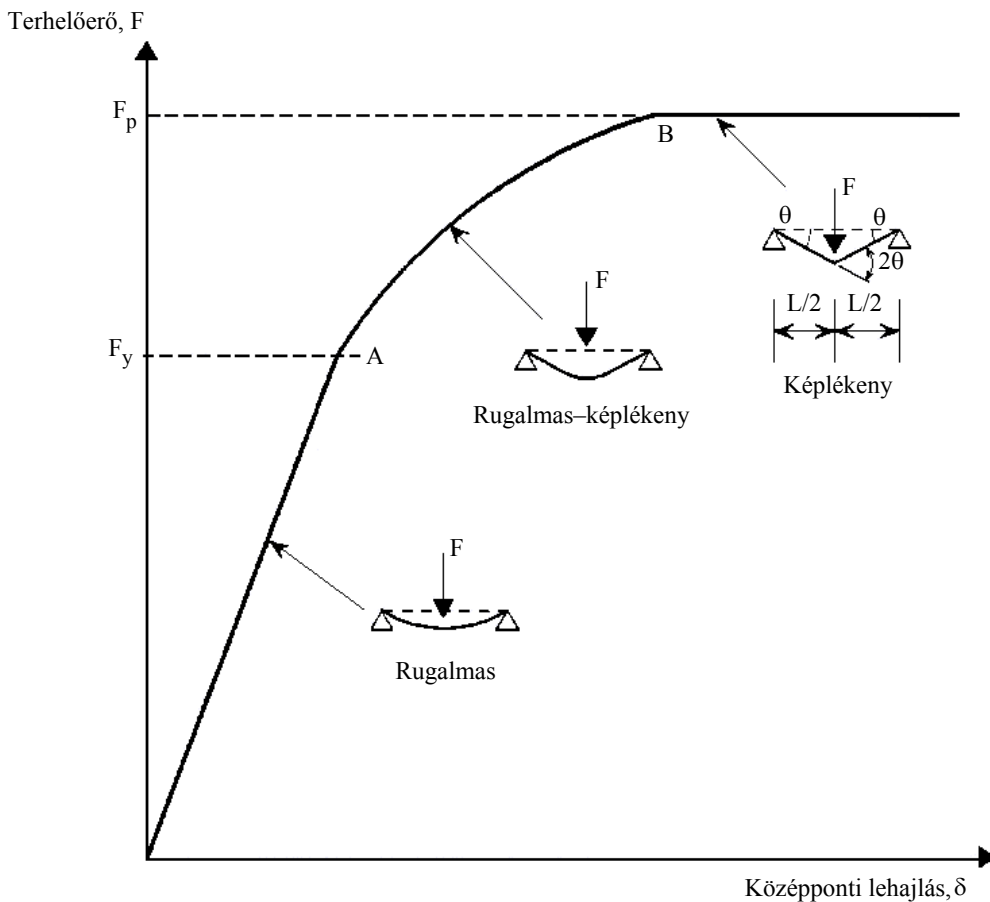
- 3. osztályba tartozó szelvények esetén a teljes keresztmetszet rugalmas nyomatéki tervezési ellenállására:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} f_y}{\gamma_{M0}}; \quad (\text{A.14.2})$$

- 4. osztályba tartozó szelvények esetén a lemezhorpadás figyelembevételével meghatározott tervezési ellenállásra:

$$M_{c,Rd} = M_{eff,Rd} = \frac{W_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}. \quad (\text{A.14.3})$$

Ha a kritikus keresztmetszetben a húzott övben furatok helyezkednek el, akkor ellenőrizni kell, hogy a hasznos és a teljes keresztmetszeti terület aránya elegendően nagy-e ahhoz, hogy a hasznos keresztmetszetben ne következzen be szakadás a teljes keresztmetszet megfolyása előtt. Ez az ellenőrzés ugyanúgy végezhető el, mint a húzott elemek szívós viselkedésének ellenőrzése, és a feltétel akkor teljesül, ha az $A_{f,net} / A_f$ hányados S 275 anyagra legalább 0,81, S 355 anyagra pedig legalább 0,88 (40 mm-nél kisebb vastagságú övlemezt feltételezve). Amennyiben az $A_{f,net} / A_f$ hányados nem teljesíti ezt a feltételt, olyan csökkentett övterületet (A_f) lehet feltételezni, amely már kielégíti a feltételt, vagyis a csökkentett övterület egyenlő lesz $A_{f,net}$ és a határérték hányadosával. A gerinclemez húzott szakaszában lévő furatokat hasonlóan lehet kezelni, míg a nyomott szakaszban lévő furatok (mind az öv-, mind a gerinclemezben) figyelmen kívül hagyhatók (kivéve túlméretes és ovális furatok esetén).

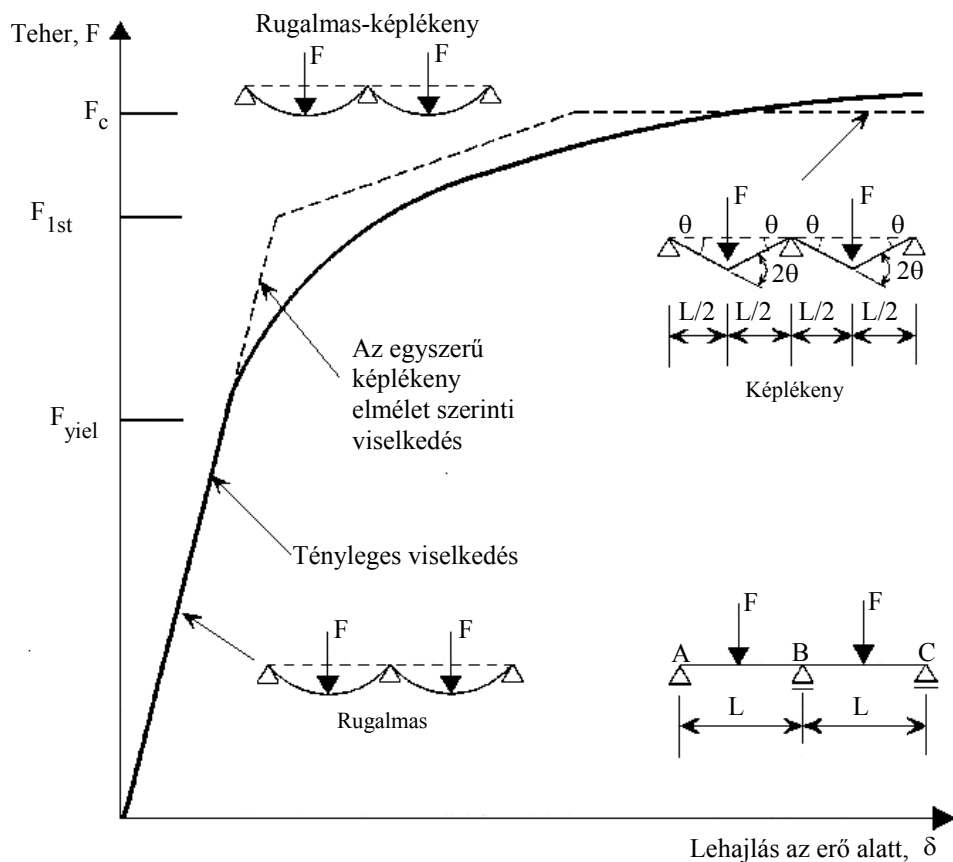


A.14.1. ábra: A kéttámaszú gerenda viselkedése

Meg kell jegyezni, hogy folytatódó többszörös (statikailag határozatlan) gerendák esetén a szerkezet tönkremenetele nem feltétlenül következik be akkor, amikor a rugalmas vizsgálatból adódó maximális nyomaték eléri a tervezési nyomatéki ellenállást (A.14.2. ábrát). Ugyanis – amennyiben rendelkezik a szükséges elfordulási képességgel – a maximális nyomaték helyén a keresztmetszet csuklóként kezd viselkedni, és miközben a csuklók fokozatosan kialakulnak, a nyomatékok eloszlása folyamatosan módosul az eredeti rugalmas eloszláshoz képest. A lehetséges nyomatékretenedezés következtében a szerkezet az első csuklót létrehozó terheknél nagyobbakat is képes elviselni, mindaddig, amíg elegendő számú csukló nem alakul ki a szerkezet képlékeny mechanizmussá válásához. Mindez a képlékeny tervezés körébe tartozik, amely megkívánja, hogy a keresztmetszetek elfordulhassanak a képlékeny nyomatéki ellenállás viselése közben, azaz 1. osztályba tartozó keresztmetszet szükséges.

A.14.3. Nyírási ellenállás

Acélgerendák méretezésekor legtöbbször a hajlítás a mértékadó, de a nyírási ellenállás is meghatározó lehet rövid, nagy koncentrált erőkkel terhelt gerendák esetén. A A.14.3. ábra rugalmas viselkedést feltételezve bemutatja, milyen nyírófeszültség-eloszlás keletkezik egy I szelvényben. Majdnem a teljes nyíróerőt a gerinc viseli, és minthogy a gerincben a nyírófeszültségek alig változnak, a tervezés során nem követünk el nagy hibát, ha a gerincben átlagos nyírófeszültséget tételezünk fel.

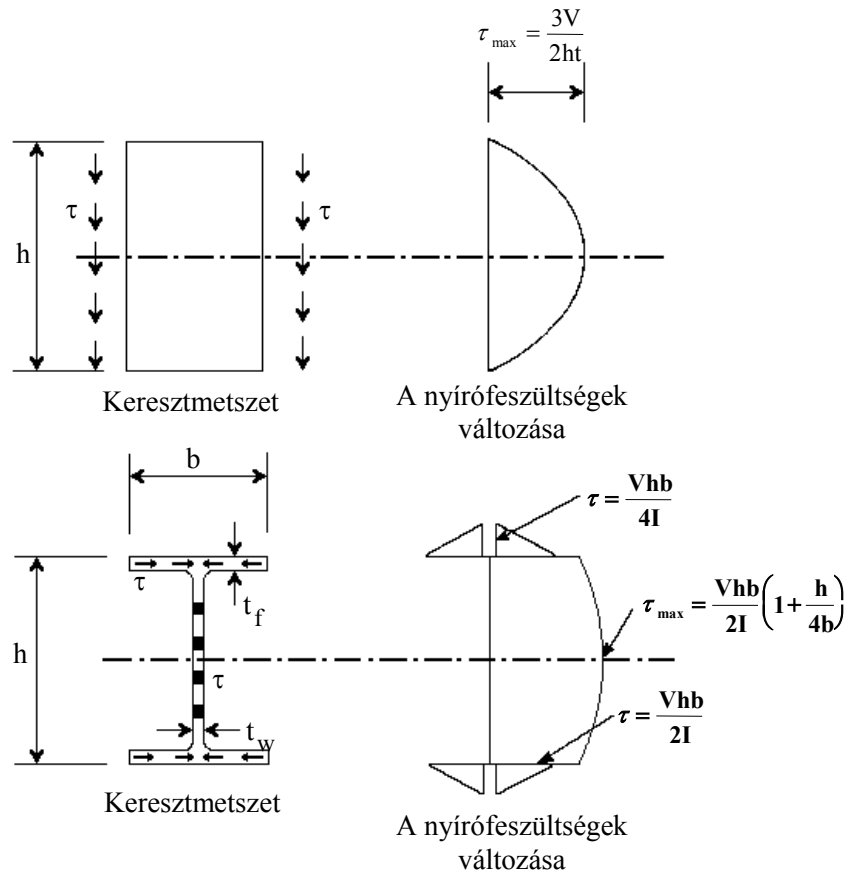


A.14.2. ábra: Statikailag határozatlan gerenda teher–alakváltozás görbéje

Tiszta nyírás esetén az acél körülbelül $1/\sqrt{3}f_y$ feszültségnél folyik meg. Ez azt jelenti, hogy a nyíróerő V_{sd} tervezési értékét minden keresztmetszetben az A_v nyírt keresztmetszeti terület $V_{pl,Rd}$ képlékeny nyírási ellenállásával kell összehasonlítani:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad (4)$$

A (4) egyenlet olyan gerincekre érvényes, amelyek elegendően zömökek ahhoz, hogy bennük nyírási horpadás ne jöhessen létre. A nyírási horpadási ellenállást akkor kell külön ellenőrizni, ha a gerinc d/t_w karcsúsága meghaladja a 69ϵ értéket, amely S 275 és S 355 acélosztályok esetén rendre 63,8 és 56,1.



A.14.3. ábra: A nyírőfeszültségek eloszlása gerendákban

A.14.4. Nyomatéki ellenállás nagy nyírőerő esetén

Ha a nyírőerő tervezési értéke meghaladja a képlékeny nyírási ellenállás 50%-át, a tervezési nyomatéki ellenállást a nyírőerő és a nyomaték kölcsönhatása miatt csökkenteni kell. Feltételezzük, hogy a normál- és a nyírőfeszültségek kombinációja esetén az acélangag megfolyása a következő interakciós összefüggésnek megfelelően következik be:

$$\left(\frac{\sigma}{f_y}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_y}\right)^2 = 1. \quad (\text{A.14.5})$$

Jelentős egyidejű nyírőerőt viselő keresztmetszet képlékeny tervezési nyomatéki ellenállását úgy számítjuk ki, hogy a nyírt keresztmetszeti területen csökkentett szilárdságot veszünk figyelembe. A csökkentés a nyírőerő és a nyírási ellenállás hányadosának függvényében, a következő összefüggéssel definiált szorzótényező révén hajtjuk végre:

$$\rho = \left(\frac{2V_{sd}}{V_{pl.Rd}} - 1\right)^2. \quad (\text{A.14.6})$$

A nyírt keresztmetszeti területre vonatkozó csökkentett szilárdság ekkor $(1 - \rho) \cdot f_y$. Nyírőerő jelenléte esetén ez csökkentett nyomatéki tervezési ellenállásra ($M_{v,Rd}$) vezet, amely erős tengelyük körül hajlított I és H szelvényekre a következő összefüggéssel adható meg:

$$M_{v,Rd} = \left[W_{pl} - \frac{\rho A_v^2}{4t_w} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (7)$$

A.14.5. Kéttengelyű hajlítás

Mindkét keresztmetszeti tengelyük körül hajlított gerendák képlékeny semleges tengelye szöget zár be a tengelyekkel. E szög nagysága függ a nyomatékok arányától és a keresztmetszet pontos alakjától. A szabvány kéttengelyű hajlítás esetére bemutat egy interakciós görbét, amely egy I szelvény teljes képlékenyedéséhez tartozik. Az interakció a következőképpen fejezhető ki:

$$\left[\frac{M_{y,Sd}}{M_{cy,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Sd}}{M_{cz,Rd}} \right]^\beta \leq 1. \quad (8)$$

A.14.6. Használhatóság

Az előzőekben körvonalazott szilárdsági ellenőrzések mellett szükséges a gerendák használhatósági határállapotokban való ellenőrzése is. A szerkezet esztétikai megjelenését vagy hatékony használatát károsan befolyásoló, az emberi komfortérzetet rontó, vagy az épület burkolatait és felszerelését károsító jelenségek elkerülése érdekében korlátozni kell a gerendák alakváltozásait és rezgéseit. Az elfogadható alakváltozási határokat a megbízó, a tervező és az illetékes hatóságok egyetértésével kell megállapítani. Iránymutatásként ajánlott lehajlási határértékeket tartalmaz a *A.14.3. táblázat*.

A nagyközönség számára nyitott szerkezetek esetén fontos biztosítani, hogy a lengések és a rezgések ne legyenek olyan mértékűek, amelyek rontják a használók komfortérzetét. A szerkezetet ebből a szempontból dinamikai vizsgálatokkal lehet ellenőrizni, sok esetben azonban elegendő az alakváltozások korlátozása is. A lakóépületek és az irodák födémjeinek legkisebb sajátfrekvenciáját például célszerű 3 Hz-ben korlátozni. Ez a feltétel teljesül, ha az esetleges terhekből származó lehajlás kisebb, mint 28 mm. Tornatermek és tánctermekek födémjeinek legkisebb sajátfrekvenciája ne legyen kisebb 5 Hz-nél, amit a 10 mm-es lehajlási korlát biztosít.

A lapos tetőkön (lapos tetőnek szokás tekinteni minden 5°-nál kisebb hajlású tetőt) a tető lehajlása következtében a csapadékvíz összegyűlhet. Ez az oka annak, hogy gondosan ellenőrizni kell a tető lehajlásait, figyelembe véve az építési pontatlanságokat, az alapozás süllyedéseit, a tetőszerkezet lehajlásait stb.

A.14.3. táblázat: Ajánlott lehajlási határértékek

Feltételek	Határértékek	
	\square_{\max}	\square_2
Tetők általában	L/200	L/250
Gyakran, nem csak fenntartás céljából járt tetők	L/250	L/300
Födémek általában	L/250	L/300
Födémek és tetők, amelyek vakolatot vagy más rideg burkolatot vagy merev válaszfalakat hordoznak	L/250	L/350
Oszlopokat megtámasztó födémek (amennyiben a lehajlások hatását a teherbírasi határállapotban végzett globális vizsgálatban nem vettük figyelembe)	L/400	L/500
Ha δ_{\max} rontja az épület esztétikai megjelenését	L/250	–