ACÉLSZERKEZETEK TERVEZÉSE AZ EUROCODE SZERINT

Dr. Iványi Miklós[1]

Előszó

Acélszerkezetek tervezési stratégiájában az elmúlt években jelentős átrendeződés következett be:

- Megjelentek illetve megjelennek az Eurocode szabványrendszer egyes részei, és ezzel új, alternatív tervezési módszerek alkalmazására kerül sor.
- A modern acélszerkezetek területén a félkész-termékek, így a melegen hengerelt és hidegen hajlított szelvények választékának kibővülése hozott jelentős tervezéselméleti, módszertani és minőségügyi változást.
- A számítástudomány eredményeinek alkalmazásával a tervezési módszertan kiterjedt átalakuláson megy keresztül.

Az Eurocode szerinti tervezési stratégia megismeréséhez számos „forrást" biztosít az Európai Unió, melyek modernizálni kívánják az egyetemi oktatást, a szabványok megismerését, alkalmazását mind tartalmi, mind módszertani szempontból, harmonizálni akarják a tananyagokat, figyelembe véve az ipari, a mérnöki élet követelményeit.

Az elmúlt évtizedekben több európai projektben vettünk részt, melyek segítségével jelentős változás következett be ezen a területen:

Leonardo da Vinci Program: SSEDTA-1 (1997-1999)
SSEDTA-2 (1999-2001)

„Structural Steelwork Eurocodes – Development of a Trans-National Approach"

A programok eredményeit könyvben foglaltuk össze. [Iványi 2001]

Jelen összeállítás természetesen az adott keretek között a legfontosabbnak ítélt részek vázlatos ismertetését fogalmazva meg feladatként. Az összeállítás 1-7 fejezetével követjük az EN 1993-1-1 szabvány megfelelő fejezeteit, ezzel is segítve az eligazodást. A 8. fejezet a EN 1993-1-8 Kapcsolatok tervezése kiegészítő szabvány ismertetésével foglalkozik, mivel acélszerkezetek területén ez a fejezet nagyon fontos, a további részek vonatkozásában a szakirodalom a teljes szabványcsaládra hivatkozik. [Iványi 2002]

[1] műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

Általános bevezető

Az Eurocode 3 szabvány-család az előkészítő, véglegesítési folyamat során számos „átrendezésen” ment keresztül, végül is a következő rendszer alakult ki:

EN 1993-1 Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
EN 1993-2 Acélhidak
EN1993-3 Tornyok, antennatornyok, kémények
EN 1993-4 Silók, tartályok, csővezetékek
EN 1993-5 Acélcölöpök
EN1993-6 Daru megtámasztó szerkezetek

Az EN 1993-1 általános szabályok kiegészítésére további részeket csatoltak:

EN 1993- 1-1 Acélszerkezetek tervezése: Általános és épületekre vonatkozó szabályok
1-2 Acélszerkezetek tervezése tűzteherre
1-3 Hidegen alakított elemek és burkolatok
1-4 Rozsdamentes acélok
1-5 Lemezszerkezetű elemek
1-6 Héjszerkezetek szilárdsága és stabilitása
1-7 Keresztirányban terhelt lemezszerkezetek szilárdsága és stabilitása
1-8 Kapcsolatok méretezése
1-9 Acélszerkezetek fáradási szilárdsága
1-10 Acélanyag kiválasztása a törési szívósság és a vastagság jellemzők figyelembevételével
1-11 Húzott acélszerkezetek méretezése
1-12 Kiegészítő szabályok nagy szilárdságú acélokra

1.1. Az EN 1993-1 tárgya

Az EC-3/1 acél épületek és szerkezetek tervezésénél alkalmazható. Jelen összeállítás nem terjed ki fáradásnak, alacsony hőmérsékletnek, tűznek kitett szerkezetekre, ilyen jellegű vizsgálatokkal kapcsolatos előírások az EC-3-ban találhatók.

1.2. Feltételezések

A következő alapfeltevések érvényesek az EN 1990 alapján:

- A szerkezetet megfelelően képzett és tapasztalt személyek tervezik.
- Megfelelő minőség-ellenőrzés van a gyárban, az építési helyszínen.
- Az építést megfelelő szaktudással, tapasztalattal rendelkező személyek végzik.
- Az építőanyagok és termékek megfelelnek az Eurocode-nak, vagy a vonatkozó anyag-, ill. termékspecifikációnak.
- A szerkezetet megfelelő módon fenntartják.
- A szerkezetet rendeltetésszerűen használják.

1.3. Fogalom meghatározások

Az ISO 8930 Nemzetközi Szabványban és az EN 1993-1 szabványban használt terminológiát használjuk.

1.4. Jelölések és rúdtengelyre vonatkozó szabályok

(1) Ahol többszörös indexekkel ellátott betűjelekre van szükség, az indexek a következő sorrendben használhatók:

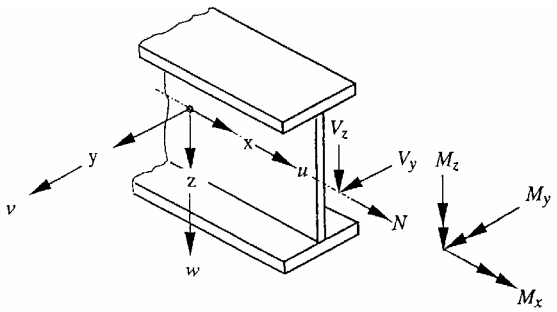
- fő paraméter: (M, N, β)
- változat típusa (l, eff, b)
- értelem (irány, előjel): (t, v)
- tengely: (y, z)
- helyzet: (1, 2, 3)
- fajta, osztály: (R, S)
- szint: (d, k)
- index: (1, 2, 3)

Például: $M_{pl,y,Rd}$ (a teljes keresztmetszet képlékeny nyomatéki tervezési ellenállása az y tengelyre)

(2) Vesszőt használunk az index betűpárok elválasztására, kivéve a következő helyeket:

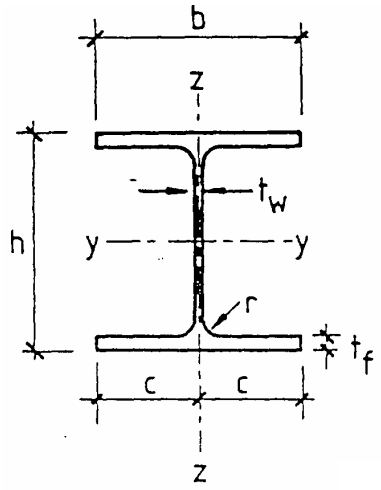
- az egy karakternél többet tartalmazó indexek nincsenek tovább elválasztva;
- az Rd, Sd stb. kombinációk nincsenek tovább felosztva.

(3) A rúdtengelyekre vonatkozó szabályok (1.1 ábra)



1.1 ábra A rúdtengelyekre vonatkozó szabályok

(4) A hengereltacél I szelvény keresztmetszeti méreteire és tengelyeire használt jelölések (1.2 ábra).



1.2 ábra: A keresztmetszet méretei és tengelyei

2. A tervezés alapelvei

2.1. Alapkövetelmények

(1) A szerkezetet úgy kell megtervezni és megépíteni, hogy

- elfogadható valószínűséggel megtartsa a megkívánt használati állapotát, figyelembe véve tervezett élettartamát és költségét;
- megfelelő megbízhatósággal ellenálljon minden erőnek és hatásnak, ami építése, használata során érheti, és a fenntartási költségekhez viszonyítva megfelelően tartós legyen.

(2) A szerkezetet úgy kell megtervezni, hogy olyan események miatt, mint robbanás, ütközés vagy emberi mulasztás, a kiváltó okhoz képest aránytalan módon ne rongálódjon meg.

(3) Az előző követelmények kielégíthetők megfelelő anyagkiválasztással, tervezéssel, részletkialakításokkal, a gyártás, építés és használat ellenőrzésének a létesítmény sajátosságait figyelembe vevő előírásrendszerével.

2.2. Meghatározások és osztályozások

2.2.1. Határállapotok

(1) A határállapotok azok az állapotok, amelyeken túl a szerkezet már nem elégíti ki az előírt tervezési követelményeket.
A határállapotok csoportjai:

- teherbírási határállapotok,
- használhatósági határállapotok.

(2) A teherbírási határállapotok azok a határállapotok, amelyek a szerkezet összeomlásához vagy más olyan tönkremeneteli formájához kapcsolódnak, amelyek az emberek biztonságát veszélyeztethetik.

(3) A használhatósági határállapotok azok a határállapotok, amelyeken túl a meghatározott használati feltételek már nem teljesülnek.

(4) A tervezési állapotok csoportjai:

- tartós állapotok, amelyek a szerkezet rendeltetésszerű használati feltételeinek felelnek meg;
- ideiglenes állapotok, például építés vagy javítás közben;
- rendkívüli állapotok.

2.2.2. Hatások

2.2.2.1. Meghatározások és elvi csoportosítás

Az (F) hatás lehet:

- a szerkezetre ható erő (közvetlen hatás), vagy
- terhelő alakváltozás (közvetett hatás), pl. hőmérsékleti hatás vagy támaszsüllyedés.

A hatások csoportjai:

(i) időbeni változások szerint:

- állandó hatások (G), pl. a szerkezetek, a szerelvények, az ideiglenes és rögzített berendezések önsúlya;
- változó hatások (Q), pl. esetleges terhek, szél- vagy hóterhek;
- rendkívüli terhek (A), pl. robbanás vagy járművek ütközése;

(ii) térbeni változások szerint:

- állandó hatások, pl. az önsúly;
- változó hatások, amelyek különböző elrendezésben jelentkeznek, pl. mozgó esetleges terhek, a szélteher vagy a hóteher.

2.2.2.2. A hatások karakterisztikus értékei

(1) Az F_k karakterisztikus értékeket

- az EN 1991 Eurocode 1 vagy más teherszabvány írja elő, vagy
- a megrendelő, esetleg a tervező a megrendelővel való egyeztetés alapján határozza meg, összhangban a vonatkozó teherszabványban található, vagy az illetékes hatóság által meghatározott minimális értékekkel.

(2) A hatások tervezési értékei:

$$F_d = \gamma_F F_k,$$

ahol γ_F a hatás parciális biztonsági tényezője.

(3) A γ_F használatának speciális esetei:

$G_d = \gamma_G G_k$
$Q_d = \gamma_Q Q_k$ vagy $\gamma_Q \psi_i Q$
$A_d = \gamma_A A_k$ (ha A_d közvetlenül nincs előírva)

ahol ψ kombinációs együttható.

2.3. Tervezési követelmények

2.3.1. Általános előírások

(1) Igazolni kell, hogy egyetlen vonatkozó határállapot sincs túllépve.

(2) Minden vonatkozó terhelési állapotot és teherkombinációt figyelembe kell venni.

(3) A hatások feltételezett irányának vagy helyzetének lehetséges eltérését figyelembe kell venni.

(4) A számításokat az összes mértékadó paraméter figyelembe vételével megfelelő tervezési modellekkel (ha szükséges, akkor kísérletekkel kiegészítve) kell elvégezni. A tervezési modell elég pontos legyen ahhoz, hogy a szerkezet viselkedését megfelelően írja le, feleljen meg a gyártás valószínűsíthető színvonalának és a tervezés alapjául szolgáló információk megbízhatóságának.

2.3.2. Teherbírási határállapotok

2.3.2.1. Ellenőrzési feltételek

(1) A szerkezet statikai egyensúlyi, teljes elmozdulási vagy alakváltozási határállapotának vizsgálata esetén igazolni kell, hogy

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb},$$

ahol $E_{d,dst}$ a destabilizáló hatások tervezési értékét,
$E_{d,stb}$ a stabilizáló hatások tervezési értékét jelenti.

(2) Törési vagy alakváltozási határállapot esetén egy keresztmetszetet, szerkezeti elemet vagy egy kapcsolatot (fáradást kivéve) ellenőrizni kell:

$$S_d \leq R_d,$$

ahol S_d a belső erő vagy nyomaték tervezési értéke,
R_d a megfelelő tervezési ellenállás.

2.3.2.2. Hatások kombinációi

(1) Minden teherkombinációnál a hatáskövetkezmény E_d tervezési értékeit a hatások tervezési értékeiből a kombinációs szabályok szerint kell meghatározni az EN 1990 és EN 1991 szabványok alapján

2.3.3. Használhatósági határállapotok

(1) Minden teherkombinációnál a hatáskövetkezmény tervezési értékeit a hatások tervezési értékeiből a kombinációs szabályok szerint kell meghatározni.

3. Anyagok

3.1. Általános elvek

(1) A táblázatban szereplő anyagi jellemzők névleges értékek, melyek tervezéskor karakterisztikus értékként használandók.

3.2. Szerkezeti acél

(2) Melegen hengerelt acélok anyagjellemzői

3.1 táblázat: Az EN 10025 szerinti szerkezeti acélok f_y folyáshatárának és f_u szakítószilárdságának névleges értékei

	Vastagság t [mm]			
	$t \le 40$ mm		40 mm $< t \le 80$ mm	
	f_y [N/mm^2]	f_u [N/mm^2]	f_y [N/mm^2]	f_u [N/mm^2]
EN 10025				
S235	235	360	215	340
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	490
S450	440	550	410	550

(3) Duktilitási követelmények

A szerkezet vagy a szerkezet elemeinek globális analízise során az acélanyag duktilitási követelményei a következők:

- az előírt minimális f_u szakítószilárdság és f_y folyáshatár arányára igaz, hogy $f_u / f_y \ge 1.1$
- az $5.65\sqrt{A_0}$ (ahol A_0 az eredeti keresztmetszet területe) bázishosszon mért szakadó nyúlás nem kisebb, mint 15%.
- a feszültség-nyúlás diagram alapján az f_u szakítószilárdsághoz tartozó ε_u szakadó nyúlás legalább 15-szor nagyobb az f_y folyáshatárhoz tartozó ε_y folyási nyúlásnál ($\varepsilon_u \ge 15\varepsilon_y$).

(4) Anyagi együtthatók tervezési értéke

Az acélok anyagi együtthatóit a számítások során a következő értékekkel kell figyelembe venni:

- rugalmassági modulus: $E = 210000\ N/mm^2$
- nyírási modulus: $G = E/2(1+\nu) \sim 81000\ N/mm^2$
- Poisson-tényező: $\nu = 0.3$
- lineáris hőtágulási együttható: $\alpha = 12\times10^{-6}\ 1/K$ ($T \leq 100°C$ esetén)
- sűrűség: $\rho = 7850\ kg/m^3$

4. Tartósság

(1) Acélszerkezeti elem tervezett használatának és élettartamának megfelelő tartósság biztosításához a tervezési szakaszban a következő, egymással összefüggő tényezőket kell figyelembe venni:

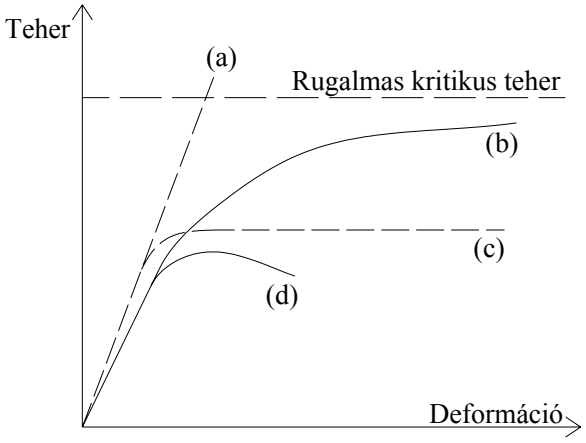
- a szerkezet tervezett használata,
- a megkívánt gyártási kritériumok,
- az elvárt környezeti feltételek,
- az anyagok összetétele, tulajdonsága és gyártása,
- a különböző anyagok egymáshoz kapcsolásának hatása,
- az elemek alakja és szerkezeti részletek,
- a kivitelezés minősége és az ellenőrzés szintje,
- a különleges védőeszközök,
- a megfelelő fenntartás a tervezett élettartam folyamán.

(2) A külső és belső környezeti feltételeket fel lehet becsülni a tervezési szakaszban abból a célból, hogy megállapítsuk a jelentőségüket a tartóssághoz viszonyítva, biztosítva a megfelelő tartalékokat az anyagok védelméhez.
(3) Különös figyelem szükséges azokban az esetekben, amikor a különböző anyagoktól várjuk el az együttdolgozást, mert ezekben az esetekben az anyagokban elektrokémiai jelenségek léphetnek fel, megfelelő feltételeket biztosítva a korrózió kialakulásához.
(4) A környezeti feltételeket, melyeket a gyártási idő, beleértve a szállítást és a helyszíni tárolást jelentősen befolyásol, figyelembe kell venni.
(5) A megfelelő acélanyag kiválasztása mellett az acélszerkezetek tartósságát a szerkezeti részletek megfelelő megtervezése is jelentősen befolyásolja.

5. Szerkezeti analízis

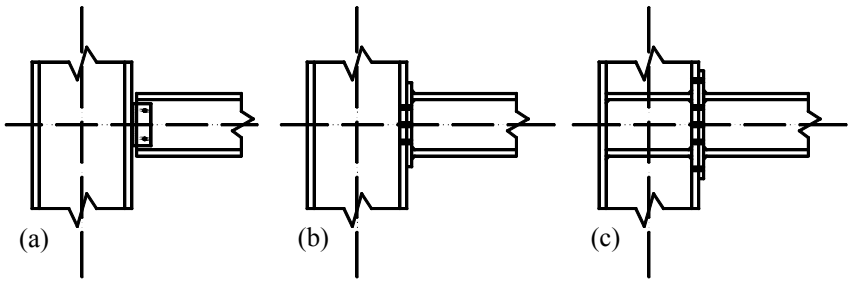
5.1. Szerkezeti modellek

(1) A keresztmetszetek szilárdságának és a szerkezeti rudak stabilitásának meghatározása előtt áttekintjük a globális analízist, amely erők, nyomatékok megállapítására szolgál: (5.1 ábra)
   (a) elsőrendű rugalmas – kezdeti geometriai alak és lineáris anyag viselkedés,
   (b) másodrendű rugalmas – deformált geometriai alak és lineáris anyag viselkedés,
   (c) elsőrendű képlékeny – kezdeti geometriai alak és nem-lineáris anyag viselkedés,
   (d) másodrendű képlékeny – deformált geometriai alak és nem-lineáris anyag viselkedés feltételezésével.



5.1 ábra Teher-deformáció görbék

(2) A szerkezeti kapcsolatok tipikus kialakításait oszlop-gerenda kapcsolatok eseteire az 5.2 ábra mutatja.



5.2 ábra Tipikus oszlop-gerenda kapcsolatok
(a) Egyszerű csomópont; (b) Fél-folytonos csomópont; (c) Merev csomópont

5.2. Globális vizsgálat

5.2.1. Szerkezet deformált alakjának hatása

(1) A belső erők, igénybevételek meghatározhatók
- első-rendű vizsgálattal, a szerkezet kezdeti geometriájának felhasználásával
- másod-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 elmozduláshoz tartozó instabilitási teher
F_{Ed} a szerkezet tervezési terhe
F_{crit} a rugalmas kritikus teher globális instabilitás esetén

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

(2) Gerenda-oszlop típusú síkbeli keretek esetében az elsőrendű vizsgálat követelménye egyszerűsítve vizsgálható (5.3 ábra)

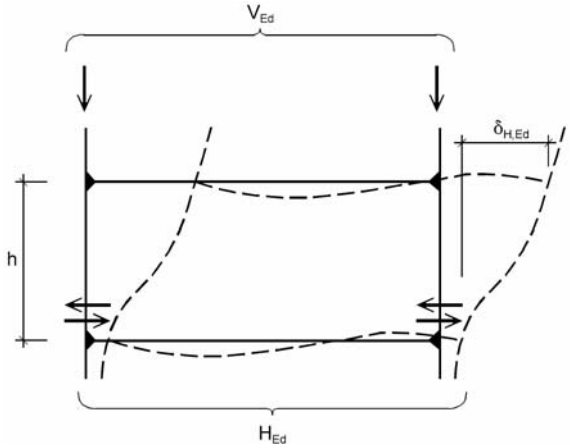
$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{h}{\delta_{H,Ed}}$$

ahol: H_{Ed} a szint alján ható vízszintes valódi és fiktív erők vízszintes reakcióereje
V_{Ed} a szerkezet teljes függőleges terhe a szint tetején
$\delta_{H,Ed}$ a szint felső szélének eltolódása az alsó élhez viszonyítva a valódi (pl. szélteher) és a fiktív vízszintes erők hatására
h a szint magassága

Alkalmazható viszonylag kis hajlású (26°) gerenda esetén:
A gerenda nyomási igénybevételeinek ismerete hiányában feltételezhető:

$$\bar{\lambda} \geq 0.3\sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}}$$

$\bar{\lambda}$ dimenziónélküli síkbeli karcsúság, a gerendára csuklós megtámasztást feltételezve



5.3 ábra Keretek jelölése

Egyszintes keretek esetében a másod-rendű hatás számítható a H_{Ed} vízszintes teher (pl. szélteher) és egy az imperfekciókból származó ekvivalens teher figyelembevételével:

$$H = H_0 \frac{1}{1-\frac{1}{\alpha_{cr}}} \quad ; \quad \alpha_{cr} = \frac{H_0}{V_{Ed}} \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \geq 3.0 \quad ; \quad H_0 = H_{Ed} + V_{Ed}\,\phi$$

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

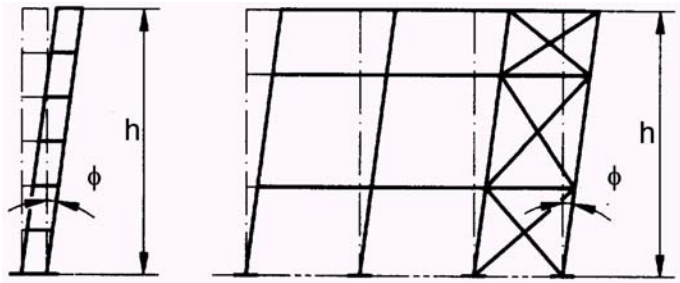
- a függőleges szinterők megoszlása,
- a vízszintes szinterők megoszlása,
- és a keretmerevségek megoszlása szintenként a vízszintes erők hatására.

5.3. Globális vizsgálatok szerkezeti imperfekciókkal

5.3.1. Imperfekciók keretek globális analíziséhez (5.4 ábra)

Síkbeli kihajlás estén:

(a) globális ferdeség φ



5.4 ábra Ekvivalens eltolódási imperfekciók

$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$

ahol: $\phi_0 = 1/200$ kezdeti érték

α_h a h magasságú oszlopokhoz alkalmazható csökkentő tényező:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{, de} \quad \frac{2}{3} \le \alpha_h \le 1{,}0$$

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 teher legalább 50 %-a terhel.

(b) lokális görbeség e_0 (5.1 táblázat)

kihajlási görbe jele	rugalmas analízis	képlékeny analízis
	e_0 / L	e_0 / L
a_0	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

5.1 táblázat Kezdeti lokális görbeség

L az elem hossza

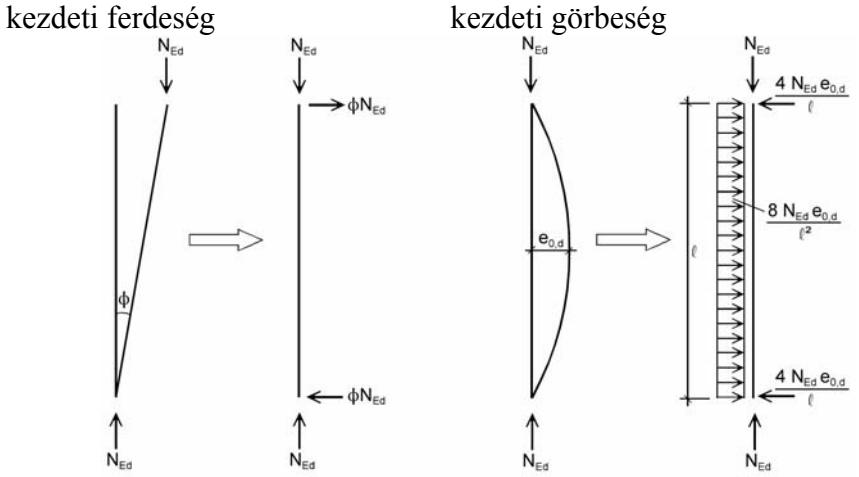
Az elemek lokális görbesége elhanyagolható és csak a globális ferdeséget kell figyelembe venni a végerők és nyomatékok meghatározásához, ha minden nyomott oszlopra teljesül a következő kritérium:

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

ahol N_{Ed} a nyomóerő tervezési értéke

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

(c) A kezdeti ferdeség és kezdeti görbeség helyettesíthető az oszlopokat terhelő vízszintes erőkkel: (5.5 ábra)



5.5 ábra Imperfekciók helyettesítése ekvivalens vízszintes terhekkel

(d) A szerkezet lehetséges elfordulási hatása is figyelembe vehető megfelelő eltolódások alkalmazásával:

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

$$\eta_{init} = e_{0,d} \frac{M_{Rk}}{EI\,\eta''_{crit,max}} \eta_{crit}$$

ahol: $\overline{\lambda} > 0{,}2$ esetén

$$e_{0,d} = \frac{\alpha\left(\overline{\lambda} - 0{,}2\right)}{\overline{\lambda}^2} \frac{1 - \frac{\chi\overline{\lambda}^2}{\gamma_{M1}}}{1 - \chi\overline{\lambda}^2}$$

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

α a megfelelő kihajlási görbéhez tartozó imperfekciós tényező

χ kihajlási csökkentő tényező

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

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

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

$EI\eta''_{crit}$ a mértékadó keresztmetszetben η_{crit} hatására ébredő hajlító nyomaték

5.3.2. Imperfekciók megtámasztó rendszerek globális analíziséhez

(a) Megtámasztó szerkezetek imperfekciója kezdeti görbeséggel adható meg: (5.6 ábra)

$$e_0 = \alpha_m L / 500$$

ahol: L a megtámasztó rendszer támaszköze

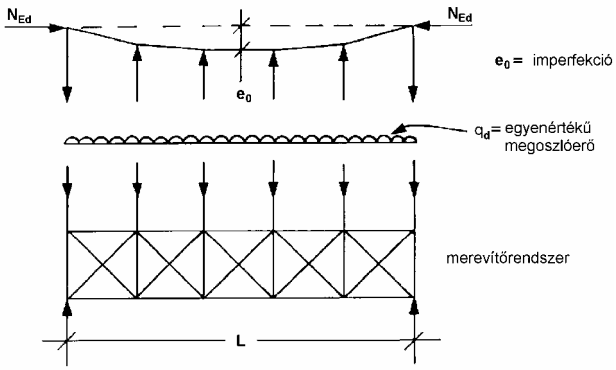
$$\alpha_m = \sqrt{0{,}5\left(1+\frac{1}{m}\right)}$$

m a megtámasztott elemek száma

(b) 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 analízisből számított külső teher együttes hatására. Másodrendű elmélet esetén $\delta_q = 0$ alkalmazható.



Az N_{Ed} erő az L támaszközön egyenletesen oszlik meg.
5.6 ábra Ekvivalens stabilizáló erő

(c) Ha a megtámasztott gerenda vagy nyomott elem illesztett, a megtámasztó rendszert az illesztés keresztmetszetében ható $\alpha_m N_{Ed} / 100$ nagyságú koncentrált erőre is ellenőrizni kell.

5.4. Nem-lineáris anyag számításba vétele a globális analízisnél

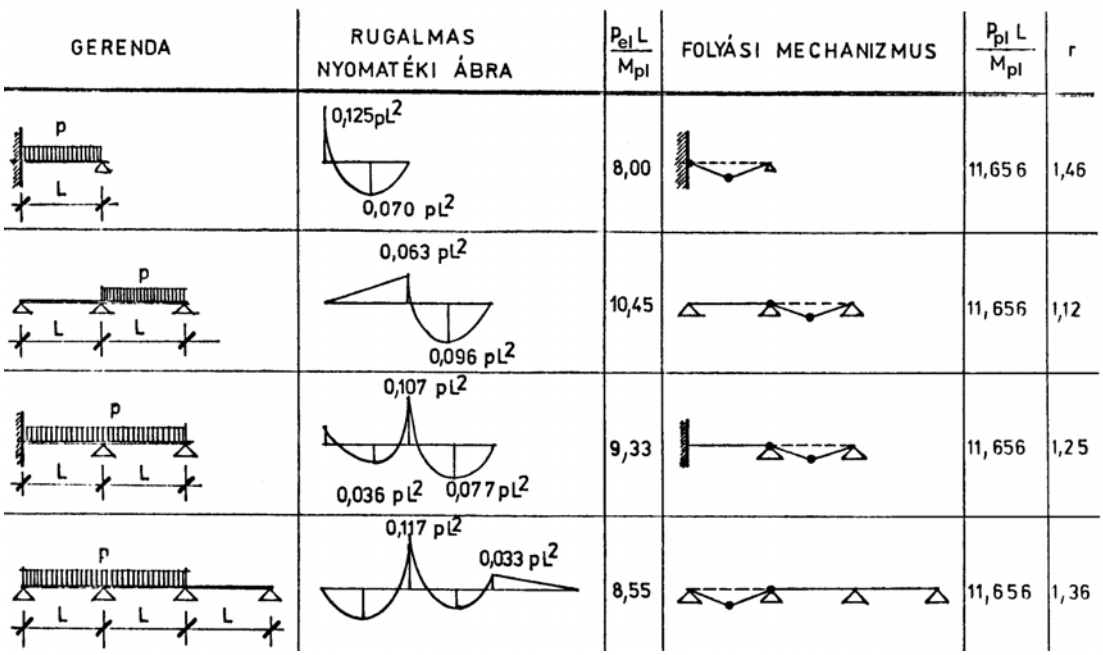
Statikailag határozatlan szerkezetek belső erői és nyomatékai
a) rugalmas globális analízissel vagy
b) képlékeny globális analízissel határozhatók meg.

Rugalmas globális analízis mindig használható.

Képlékeny globális analízis csak akkor használható, ha az EN 1993-1-1 szabvány szerint a rúdelemek keresztmetszetei teljesítik az 5.5 szakasz feltételeit az acélanyag pedig a duktilitási követelményeket.

Az 5.7 ábra néhány példa segítségével bemutatja a különböző gerenda szerkezetek többletteherbírását.

Képlékeny többletteherbírás $r = \frac{P_{pl}}{P_{el}}$.

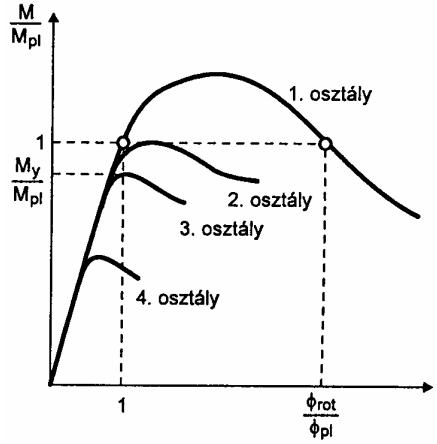


5.7 ábra Rugalmas és képlékeny teherbírás

5.5. Keresztmetszetek osztályozása

Négy keresztmetszeti osztály definiálható: (5.8 ábra)

1. keresztmetszeti osztályba azok a keresztmetszetek tartoznak, amelyekben a képlékeny vizsgálat által megkívánt elfordulási képességgel rendelkező képlékeny csuklók alakulhatnak ki.
2. keresztmetszeti osztályba azok a keresztmetszetek tartoznak, amelyekben a képlékeny nyomatéki ellenállás kialakulhat, de elfordulási képességük korlátozott.
3. keresztmetszeti osztályba azok a keresztmetszetek tartoznak, amelyekben a számított nyomott szélsőszál feszültség elérheti a folyáshatárt, de a helyi horpadás (lemezhorpadás) megakadályozza a képlékeny nyomatéki ellenállás kifejlődését.
4. keresztmetszeti osztályba azok a keresztmetszetek tartoznak, amelyekben a nyomatéki, illetve nyomási ellenállás meghatározása során a helyi horpadás hatására kifejezetten tekintettel kell lenni.



5.8 ábra Nyomaték-elfordulási görbék [Halász, Iványi, 2001]

5.6. Keresztmetszet követelményei a képlékeny és rugalmas globális analízis esetén

5.6.1. Méretaránykorlátok

Az 5.2 táblázat összefoglalja a különböző keresztmetszeti alakok lemezelemeinek szélesség/vastagság követelményeit. [Iványi 1998]

5.2 táblázat Hosszú lemezcsíkok méretaránykorlátai az egyes keresztmetszeti osztályokhoz

Keresztmetszet osztályozása hajlítás és nyomóerő esetén:
Az összetett igénybevétel esetén a feszültségállapot eloszlása alapján határozható meg a keresztmetszeti osztály. Az 1. és a 2. keresztmetszeti osztály esetén α, a 3. osztály esetén a ψ meghatározható az 5.2 táblázat alapján. I vagy H keresztmetszetek esetén az 1. és 2. osztály

$$\alpha = \frac{1}{d}\left[\frac{h}{2} + \frac{1}{2}\frac{N_{Ed}}{t_w f_y} - \left(t_f + r\right)\right] \le 1$$

a 3. osztály ψ értéke a rugalmas analízisből számítható.

5.6.2. 4. osztályú keresztmetszetek hatékony (effektív) keresztmetszeti jellemzői [EN 1993-1-5]

A lemezhorpadás hatására hatékony keresztmetszetek alakulnak ki, melyeket a lemez megtámasztásának a feszültség eloszlásának és a lemez szélesség-vastagság arányában határoznak meg.
A hatékony keresztmetszet a ρ tényezőtől függ:

A ρ csökkentő tényező a következő lehet: (5.3 táblázat)

– belső nyomott lemezelemekre:

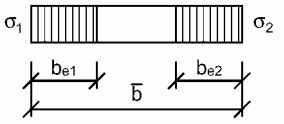
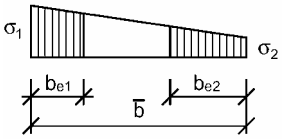
$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}055(3+\psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \le 1{,}0$$

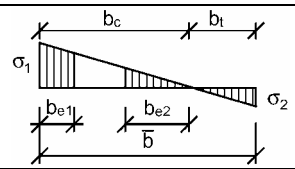
– szabad peremű lemezelemekre: (5.4 táblázat)

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0{,}188}{\bar{\lambda}_p^2} \le 1{,}0 \text{, ahol} \qquad \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28{,}4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}}$$

ψ feszültségarány
$\bar{b}$ a vonatkozó szélesség [prEN 1993-1-1:2002; 5.2 táblázat] a következők szerint:
- b_w a gerinclemezre
- b zárt szelvény belső övlemez elemére (kivéve a derékszögű négyszög keresztmetszeteket)
- b-3t derékszögű zárt szelvény öveire
- c szabadperemű övekre
- h egyenlő és egyenlőtlen szárú szögacélokra

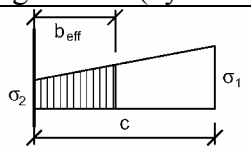
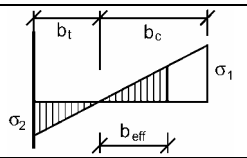
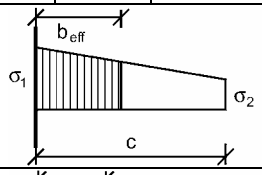
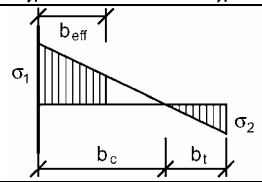
k_σ a ψ feszültségaránytól függő horpadási tényező
t lemezvastagság
σ_{cr} a lemezhorpadási rugalmas kritikus feszültség $\sigma_{cr,p}$ [EN 1993-1-5, A melléklet]

Feszültségeloszlás (nyomás pozitív)	b_{eff} hatékony szélesség
	$\psi = 1$ $b_{eff} = \rho\,\bar{b}$ $b_{e1} = 0{,}5\,b_{eff}$ $\qquad b_{e2} = 0{,}5\,b_{eff}$
	$1 > \psi \ge 0$ $b_{eff} = \rho\,\bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5-\psi}\,b_{eff}$ $\qquad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$

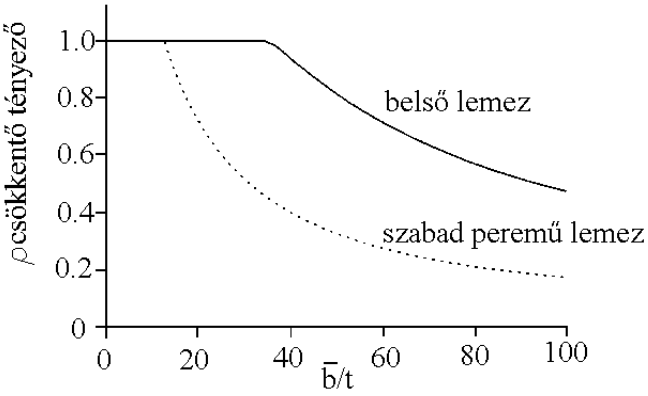
<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="5">$\underline{\psi < 0}$
$b_{eff} = \rho\, b_c = \rho\, \bar{b}/(1-\psi)$
$b_{e1} = 0{,}4\, b_{eff}$ $b_{e2} = 0{,}6\, b_{eff}$</td></tr>
<tr><td>$\psi = \sigma_2/\sigma_1$</td><td>1</td><td>$1 > \psi > 0$</td><td>0</td><td>$0 > \psi > -1$</td><td>-1</td><td>$-1 > \psi > -2$</td></tr>
<tr><td>Horpadási tényező k_σ</td><td>4,0</td><td>$8{,}2/(1{,}05+\psi)$</td><td>7,81</td><td>$7{,}81 - 6{,}29\psi + 9{,}78\psi^2$</td><td>23,9</td><td>$5{,}98(1-\psi)^2$</td></tr>
</table>

5.3 táblázat Belső nyomott lemezelemek

Az 5.9 ábra bemutatja állandó megoszlású nyomófeszültséggel terhelt belső és szabad preremű nyomott lemezelemek $\bar{b}/t$ arányának alakulását f_y=235 N/mm^2 esetére.

<table>
<tr><td colspan="3">Feszültségeloszlás (nyomás pozitív)</td><td colspan="4">b_{eff} hatékony szélesség</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 
</td><td colspan="4">$\underline{1 > \psi \geq 0}$
$b_{eff} = \rho\, c$</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 
</td><td colspan="4">$\underline{\psi < 0}$
$b_{eff} = \rho\, b_c = \rho\, c/(1-\psi)$</td></tr>
<tr><td>$\psi = \sigma_2/\sigma_1$</td><td>1</td><td>0</td><td>-1</td><td colspan="3">$-1 > \psi > -3$</td></tr>
<tr><td>Horpadási tényező k_σ</td><td>0,43</td><td>0,57</td><td>0,85</td><td colspan="3">7</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 
</td><td colspan="4">$\underline{1 > \psi \geq 0}$
$b_{eff} = \rho\, c$</td></tr>
<tr><td colspan="3"> 
</td><td colspan="4">$\underline{\psi < 0}$
$b_{eff} = \rho\, b_c = \rho\, c/(1-\psi)$</td></tr>
<tr><td>$\psi = \sigma_2/\sigma_1$</td><td>1</td><td colspan="2">$1 > \psi > 0$</td><td>0</td><td>$0 > \psi > -1$</td><td>1</td></tr>
<tr><td>Horpadási tényező k_σ</td><td>0,43</td><td colspan="2">$0{,}578/(\psi + 0{,}34)$</td><td>1,70</td><td>$1{,}7 - 5\psi + 17{,}1\psi^2$</td><td>23,8</td></tr>
</table>

5.4 táblázat Szabad peremű nyomott lemezelemek



5.9 ábra ρ csökkentő tényező alakulása

6. Teherbírási határállapotok

6.1. Általános elvek

Parciális tényezők:

γ_{M0}=1.00 parciális tényező keresztmetszeti osztályokra

γ_{M1}=1.00 parciális tényező rudak stabilitásvizsgálatára

γ_{M2}=1.25 parciális tényező húzott keresztmetszet szakadása esetén

6.2. Keresztmetszetek ellenállása

(1) a keresztmetszetek ellenállását a következő jelenségek befolyásolják:

- a teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása
- a kötőelemek furataival gyengített szelvény ellenállása
- „shear lag" hatások [EN 1993-1-5]
- a nyírási horpadási ellenállás [EN 1993-1-5]

(2) Rugalmas vizsgálat esetén a keresztmetszet kritikus pontján teljesíteni kell:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2-\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)+3\left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\gamma_{M0}}\right)^2\le 1$$

ahol $\sigma_{x,Ed}$ helyi hosszirányú normálfeszültség tervezési értéke a vizsgált pontban,

$\sigma_{z,Ed}$ helyi keresztirányú normálfeszültség tervezési értéke a vizsgált pontban,

τ_{Ed} helyi nyírófeszültség tervezési értéke a vizsgált pontban.

(3) Minden keresztmetszeti osztályra a lineáris kombináció használható. Konzervatív megközelítés:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}+\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}+\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\le 1$$

ahol a nyírási hatás redukáló hatása figyelembe veendő az egyes komponensek esetére.

6.2.1. Húzás

A húzóerő N_{Ed} tervezési értékének minden keresztmetszetben teljesítenie kell a következő feltételt:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \le 1{,}0$$

ahol $N_{t,Rd}$ a keresztmetszet húzási ellenállásának tervezési értéke, amely a következő két érték közül a kisebb:

(a) a teljes keresztmetszet képlékeny tervezési értéke
$N_{pl,Rd} = A\, f_y / \gamma_{M1}$

(b) a kapcsolóelemek furatainál a hasznos szelvény tervezési ellenállása
$N_{u,Rd} = 0{,}9\, A_{net}\, f_u / \gamma_{M2}$

6.2.2. Nyomás

A nyomóerő N_{Ed} tervezési értékének minden keresztmetszetben teljesítenie kell a következő feltételt:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \le 1{,}0$$

ahol $N_{c,Rd}$ a keresztmetszet nyomási ellenállásának tervezési értéke:

$N_{c,Rd} = A\, f_y / \gamma_{M1}$ (1., 2. vagy 3. keresztmetszeti osztály esetén)
$N_{c,Rd} = A_{eff}\, f_y / \gamma_{M1}$ (4. keresztmetszeti osztály esetén)

6.2.3. Hajlító nyomaték

A hajlító nyomaték M_{Ed} tervezési értékének minden keresztmetszetben teljesítenie kell a következő feltételt:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \le 1{,}0$$

ahol $M_{c,Rd}$ a keresztmetszet hajlítási ellenállásának tervezési értéke:

$M_{c,Rd} = W_{pl}\, f_y / \gamma_{M1}$ (1. vagy 2. keresztmetszeti osztály esetén)
$M_{c,Rd} = W_{el,min}\, f_y / \gamma_{M1}$ (3. keresztmetszeti osztály esetén)
$M_{c,Rd} = W_{eff,min}\, f_y / \gamma_{M1}$ (4. keresztmetszeti osztály esetén)

ahol $W_{el,min}$ és $W_{eff,min}$ a maximális rugalmas feszültséget adó pontra vonatkozó keresztmetszeti tényezők.

Húzott övben levő lyukakat nem kell számításba venni, ha a húzott övre teljesül:

$$\frac{A_{f,net} \cdot 0{,}9 f_u}{\gamma_{M2}} \ge \frac{A_f \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

ahol A_f a húzott öv területe.

6.2.4. Nyírás

A nyíróerő V_{Ed} tervezési értékének minden keresztmetszetben teljesítenie kell a következő feltételt:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \le 1{,}0$$

ahol $V_{c,Rd}$ a keresztmetszet nyírási ellenállásának tervezési értéke:

(I) képlékeny méretezés esetén:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(f_y / \sqrt{3} \right)}{\gamma_{M1}}$$

ahol A_v a nyírt keresztmetszeti terület:

(a) hengerelt I és H szelvények, gerinccel párhuzamos erő esetén:

$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$, de nem kisebb, mint $\eta \cdot h_w \cdot t_w$

(b) hengerelt U szelvények, gerinccel párhuzamos erő esetén:

$A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$

(c) hengerelt T szelvények, gerinccel párhuzamos erő esetén:

$0{,}9(A - bt_f)$

(d) hegesztett I, H és zárt szelvények, gerinccel párhuzamos erő esetén:

$\eta\Sigma(h_w \cdot t_w)$

(e) hegesztett I, H és zárt szelvények, övvel párhuzamos erő esetén:

$A\text{-}\Sigma(h_w \cdot t_w)$

(f) állandó falvastagságú hengerelt zárt szelvények:

magassággal párhuzamos erő esetén $Ah/(b+h)$

szélességgel párhuzamos erő esetén $Ab/(b+h)$

(g) állandó falvastagságú kör alakú szelvények:

$2A/\pi$

ahol:

A	a keresztmetszet területe
b	a teljes szélesség
h	a teljes magasság
h_w	a gerincmagasság
r	a hengerlési sugár
t_f	az öv vastagsága
t_w	a gerinc vastagsága (min)
η	lásd [EN 1993-1-5] vagy 1,0.

(II) rugalmas méretezés esetén $V_{c,Rd}$ -t abból a kritériumból határozzuk meg, hogy a mértékadó pontban

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \left(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}\right)} \leq 1{,}0$$

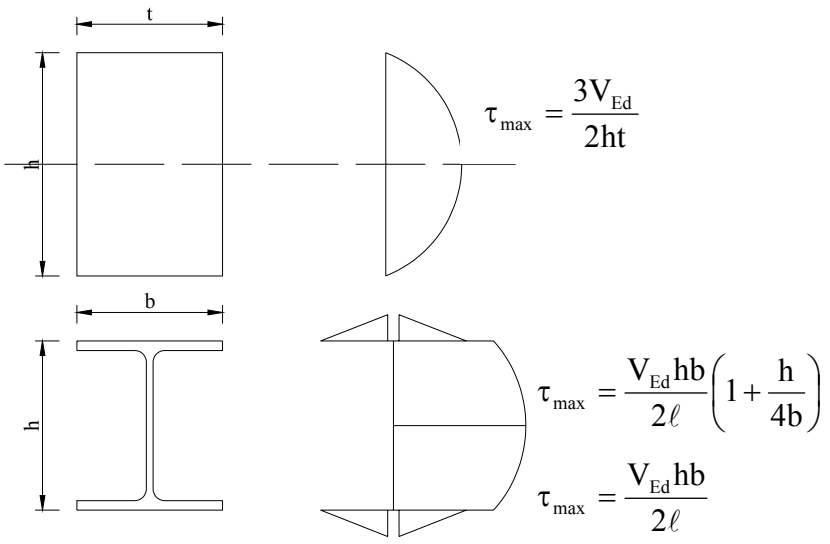
ahol

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t}$$

ahol

V_{Ed}	a nyíróerő tervezési értéke
S	a vizsgált pont feletti terület elsőrendű nyomatéka
I	a teljes keresztmetszet másodrendű nyomatéka
t	a lemezvastagság a vizsgált pontnál.

ugyanakkor alkalmazva EN 1993-1-5-nek a nyírási horpadásra vonatkozó feltételét



6.1 ábra Nyírófeszültségek eloszlása

I és H szelvények esetén, ha a nyíróerő párhuzamos a gerinclemez középvonalával, a nyírófeszültség így is számítható:

$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w}$, ha $A_f / A_w \geq 0{,}6$

ahol A_f az öv területe

$A_w = h_w\, t_w$ a gerinc területe

Emellett merevítés nélküli gerinc nyírási horpadási ellenállását is ellenőrizni kell az EN 1993-1-5 szerint, ha

$$\frac{h_w}{t_w} > 72\frac{\varepsilon}{\eta}.$$

A nyírófeszültségek rugalmas eloszlását a 6.1 ábra mutatja.

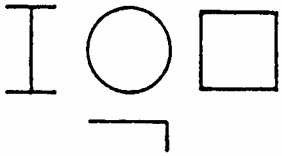
6.2.5. Hajlítás, nyírás, normálerő és keresztirányú erők interakciója

(a) Az 1. és 2. keresztmetszeti osztály esetén a képlékeny ellenállás interakciós formulája a 6.1 táblázatból vehető. A táblázatban szereplő $M_{N,V,Rd}$ értékek is a következő táblázatból vehetők.

$\left(\frac{M_{y,Sd}}{M_{N,V,y,Rd}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M_{z,Sd}}{M_{N,V,z,Rd}}\right)^{\beta} \leq 1$		
	α	β
I vagy H keresztmetszet	2	1
Zárt kör keresztmetszet	2	2
Zárt négyszög keresztmetszet	1,66	1,66
Tömör négyszög keresztmetszet és lemezek	1,73	1,73
A részletes vizsgálatot ld. az EN 1993-1-1-ben.		

6.1 táblázat Képlékeny interakciós formula, ha nincs szükség stabilitásvizsgálatra

A 3. keresztmetszeti osztály esetén a rugalmas ellenállás interakciós formulája a 6.2 táblázatból vehető.

Hengerelt vagy hegesztett szelvények	$V_{Sd} \le 0{,}5\ V_{Rd}$	$V_{Sd} > 0{,}5\ V_{Rd}$
	$\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \le 1 - n$	$\frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \le 1 - n - \rho$
$n = \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Sd}}{\frac{A\ f_y}{\gamma_{M1}}}$	$\rho = \left(2\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} - 1\right)^2$	

6.2 táblázat Kéttengelyű (ferde) hajlítás interakciós formulái

(b) A 3. keresztmetszeti osztály esetén a hosszirányú feszültségekre kimutatható:

$$\sigma_{x,Ed} \le \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

(c) A 4. keresztmetszeti osztály esetén kimutatható:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y,min} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} e_{Nz}}{W_{eff,z,min} f_y / \gamma_{M0}} \le 1$$

ahol A_{eff} egyenletesen nyomott keresztmetszet hatékony értéke
W_{eff} effektív keresztmetszeti tényezők
e_N a nyomás hatására eltolódott effektív keresztmetszet súlyponti helyei

6.3. Szerkezeti rudak stabilitási ellenállása

6.3.1. Állandó keresztmetszetű nyomott rudak

(1) Nyomott rudak kihajlási ellenállását ellenőrizni kell: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \le 1{,}0$

A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

1., 2. és 3. keresztmetszeti osztály esetén $N_{b,Rd} = \chi A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

4. keresztmetszeti osztály esetén $N_{b,Rd} = \chi A_{eff} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

ahol χ a kihajlási módnak megfelelő csökkentő tényező.

(2) Kihajlási görbék

Nyomóerő esetén a χ kihajlási csökkentő tényező meghatározható a $\bar{\lambda}$ dimenzió nélküli karcsúság figyelembevételével:

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

ahol: $\Phi = 0{,}5\left[1 + \alpha\left(\bar{\lambda} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}^2\right]$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{1}{\lambda_1}$$ 1., 2. és 3. keresztmetszeti osztályra

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i}\frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1}$$ 4. keresztmetszeti osztályra

α imperfekciós tényező (6.3 táblázat)
N_{cr} a kihajlási módhoz tartozó rugalmas kritikus erő
$L_{cr} = \beta L$ kihajlási hossz a vizsgált kihajlási síkban
β kihajlási hossz tényező
i a megfelelő tengelyre vonatkozó inerciasugár, a teljes keresztmetszet adataiból számolva

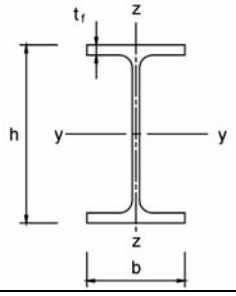
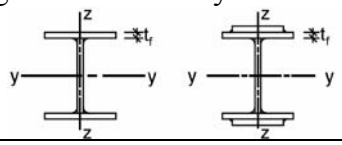
$$\lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93{,}9\varepsilon \qquad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$ f_y N/mm^2-ben

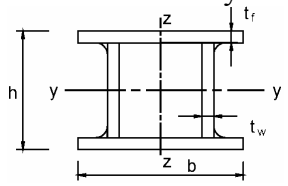
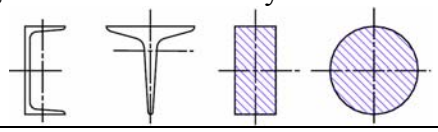
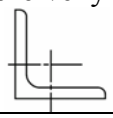
Kihajlási görbe	a_0	a	b	c	d
Imperfekciós tényező	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

6.3 táblázat Adott kihajlási görbéhez tartozó α imperfekciós tényezők:

$\bar{\lambda} \le 0{,}2$ vagy $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \le 0{,}04$ esetén a kihajlási hatás elhanyagolható.

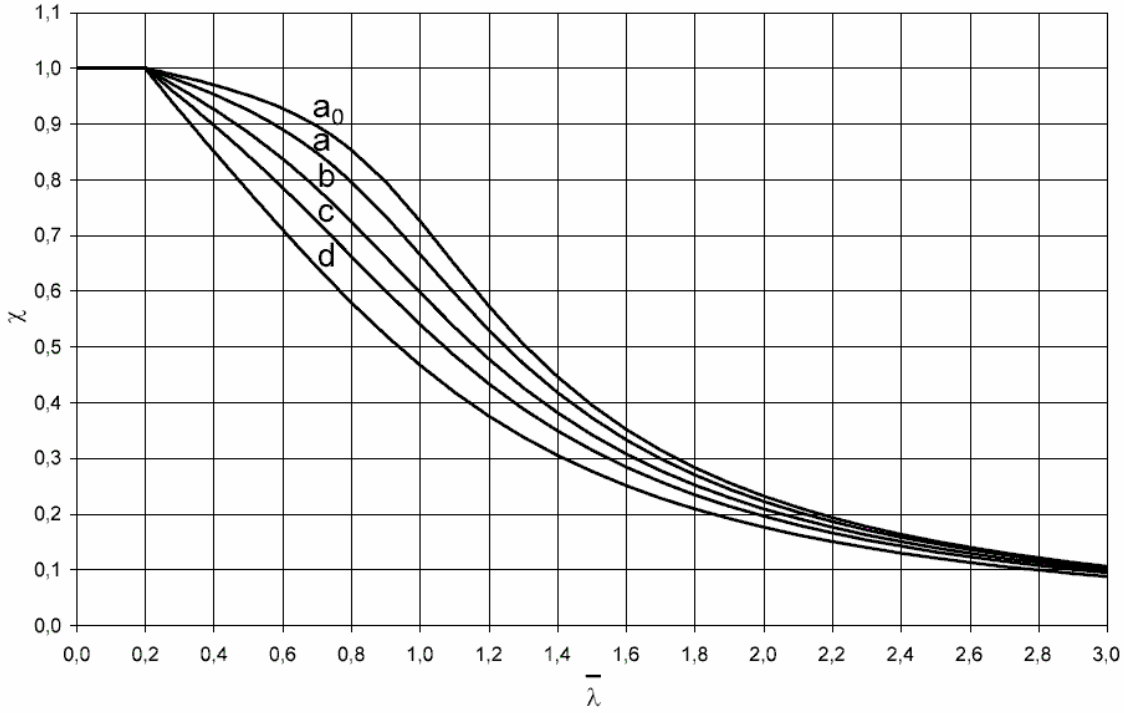
A kihajlási csökkentő tényezők görbéit a 6.2 ábra mutatja.

Keresztmetszet	Korlátozások	Kihajlási tengely	Kihajlási görbe	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Hengerelt I szelvények 	h / b > 1,2 $t_f \le 40$ mm	y – y z – z	a b	a_0 a_0
	h / b > 1,2 40 mm < $t_f \le 100$ mm	y – y z – z	b c	a a
	h / b ≤ 1,2 $t_f \le 100$ mm	y – y z – z	b c	a a
	h / b ≤ 1,2 $t_f > 100$ mm	y – y z – z	d d	c c
Hegesztett I szelvények 	$t_f \le 40$ mm	y – y z – z	b c	b c
	$t_f > 40$ mm	y – y z – z	c d	c d
Zárt szelvények	melegen hengerelt	bármelyik	a	a_0
	hidegen alakított	bármelyik	c	c

Hegesztett zárt szelvények 	általában (kivéve a következőt)	bármelyik	b	b
	erős varratok: a> 0,5 t_f $b / t_f < 30$ $h / t_w < 30$	bármelyik	c	c
U-, T- és tömör szelvények 		bármelyik	c	c
L- szelvény 		bármelyik	b	b

6.4 táblázat Kihajlási görbe kiválasztása adott keresztmetszethez

A 6.4 táblázat összefoglalja a különböző keresztmetszetek besorolásait.



6.2 ábra Kihajlási görbék:

6.3.2. Állandó keresztmetszetű hajlított rudak

(1) Oldalirányban nem megtámasztott, az erős tengely körül hajlított gerendák kifordulási ellenállását ellenőrizni kell: $\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \le 1{,}0$

A hajlított rúd tervezési kifordulási ellenállása: $M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

ahol:

1. és 2. keresztmetszeti osztály esetén $W_y = W_{pl,y}$

3. keresztmetszeti osztály esetén $W_y = W_{el,y}$

4. keresztmetszeti osztály esetén $W_y = W_{eff,y}$

(W_y meghatározásáról a gerendavégeken levő csavarlyukakat nem kell számításba venni.)

χ_{LT} a kifordulási csökkentő tényező.

(2) Kifordulási görbék

Állandó keresztmetszetű hajlított rudak χ_{LT} kifordulási csökkentő tényezője: (6.3 ábra)

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{,de } \chi_{LT} \le 1{,}0$$

ahol :

$$\Phi_{LT} = 0{,}5\left[1 + \alpha_{LT}\left(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}2\right) + \bar{\lambda}_{LT}^2\right]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

α_{LT} imperfekciós tényező (6.6 táblázat)

M_{cr} a rugalmas kifordulási kritikus nyomaték

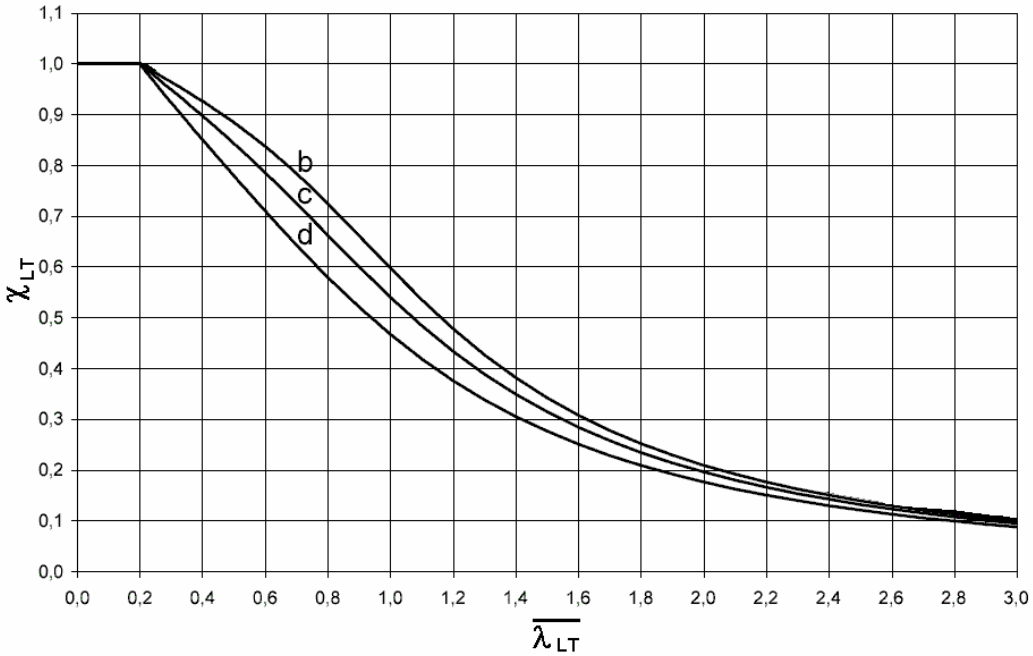
Kihajlási görbe	a	b	c	d
Imperfekciós tényező α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

6.5 táblázat Adott kifordulási görbéhez tartozó imperfekciós tényezők

Keresztmetszet	Korlátozások	Kihajlási görbe
Hengerelt I	$h/b \le 2$ $h/b > 2$	a b
Hegesztett I	$h/b \le 2$ $h/b > 2$	c d
Más keresztmetszet	-	d

6.6 táblázat Kifordulási görbe kiválasztása adott keresztmetszethez

A 6.6 táblázat a különböző keresztmetszetek besorolásait mutatja.



6.3 ábra Kifordulási görbék

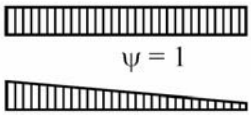
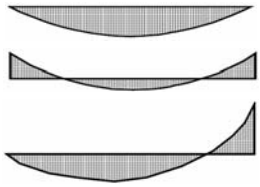
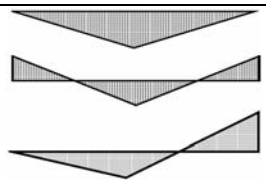
$\bar{\lambda}_{LT} \le 0{,}2$, vagy $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \le 0{,}04$ esetén a kifordulási hatás elhanyagolható.

A rúd oldalirányú megtámasztásai közötti szakaszra a nyomaték megoszlás figyelembevételével χ_{LT} módosítható:

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \qquad \text{,de} \quad \chi_{LT,mod} \le 1$$

ahol: $f = 1 - 0{,}5(1 - k_c)[1 - 2{,}0(\bar{\lambda}_{LT} - 0{,}8)^2]$,de $f \le 1{,}0$

k_c értékét a 6.7 táblázat mutatja.

Nyomaték eloszlása	1., 2. és 3. osztályú keresztmetszet	4. osztályú keresztmetszet
	k_c	k_c
 $\psi = 1$ $-1 \le \psi \le 1$	1,0 $\frac{1}{1{,}33 - 0{,}33\psi}$	1,0 $\frac{1}{1{,}33 - 0{,}33\psi}$
	0,94 0,90 0,91	1,0 1,0 1,0
	0,86 0,77 0,82	1,0 1,0 1,0

6.7 táblázat k_c korrekciós tényező értéke a következői

6.3.3. Állandó keresztmetszetű hajlított és nyomott rudak

Hajlított és tengelyirányban nyomott rudaknak ki kell elégíteni:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy}\frac{M_{y,Ed}+\Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT}\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz}\frac{M_{z,Ed}+\Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \le 1$$

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

χ_y és χ_z a kihajlási csökkentő tényezők

χ_{LT} a kifordulási csökkentő tényező

k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz} interakciós tényezők, meghatározásukra két módszer adott.

Km-i osztály	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{pl,y}$	$W_{pl,y}$	$W_{el,y}$	$W_{eff,y}$
W_z	$W_{pl,z}$	$W_{pl,z}$	$W_{el,z}$	$W_{eff,z}$
$\Delta M_{y,Ed}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{Ed}$
$\Delta M_{z,Ed}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{Ed}$

6.8 táblázat $N_{Rk} = f_y A$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ és $\Delta M_{i,Ed}$ értékei

Az EN 1993-1-1 szabvány hajlított és nyomott rudak vizsgálatára két alternatív lehetőséget ajánl. (A részleteket a Táblázatok c. könyv [Iványi 2004]részletesen tartalmazza)

6.3.4. Rudak és keretek kihajlás-vizsgálatának általános módszere

Az általános módszer alkalmazására kerülhet sor:

(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 terheltek, az elcsavarodó kihajlás, vagyis a keret síkjából való eltolódás esetén az ellenállás ellenőrzése:

$$\frac{\chi_{LT}\alpha_{ult}}{\gamma_{M1}} \ge 1{,}0$$

ahol:

χ_{LT} a kifordulási csökkentő tényező

α_{ult} 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:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult}}{\alpha_{cr}}}$$

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

α_{cr} és α_{ult} 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_{cr} meghatározásánál a keresztmetszet vetemedése és bármely megfogási hatás (pl. merevítők, egyszerű vagy folytatólagos övkapcsolatok) is figyelembe vehetők.

7. Használhatósági határállapotok

7.1. Alapelvek

(1) Az acélszerkezetekre vonatkozó használhatósági határállapotok a következők:

- alakváltozások, vagy lehajlások, melyek a szerkezet megjelenését vagy használhatóságát kedvezőtlenül befolyásolják (beleértve a gépek vagy egyéb berendezések üzemzavarait is);
- rezgés, lengés, vagy kilengés, mely kellemetlen közérzetet okoz az épület használóinak, vagy károsítja az épületben található javakat;
- alakváltozás, lehajlás, rezgés, lengés vagy kilengés, mely kárt okoz a burkolatokban vagy a nem szerkezeti elemekben.

(2) Az alakváltozásokat, lehajlásokat és rezgéseket korlátozni kell a fenti határok túllépésének elkerülése érdekében.

7.2. Lehajlások

7.2.1. Követelmények

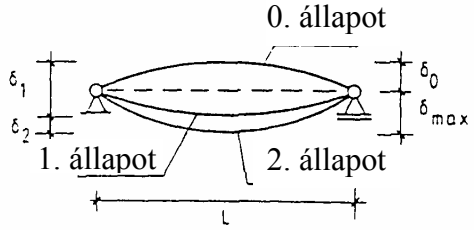
(1) Az acélszerkezeteket és alkotóelemeiket úgy kell kialakítani, hogy a lehajlások azon határon belül legyenek, amelyben a megbízó, a tervező és az illetékes hatóság megegyezett, és amely megfelel az épület tervezett használatának és használóinak, továbbá az alátámasztott anyagok természetének.

(2) A szabályzatban lévő adatok tapasztalati értékek. Ezek a számítási eredményekkel való összevetés céljára alkalmazandók, így nem értelmezhetők erőtani követelményként.

(3) A lehajlásokat a másodrendű hatásokra és a lehetséges képlékeny alakváltozásokra vonatkozóan tett megfelelő közelítésekkel kell számolni.

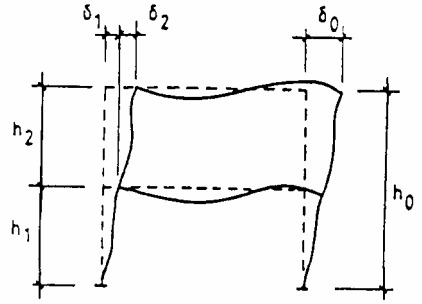
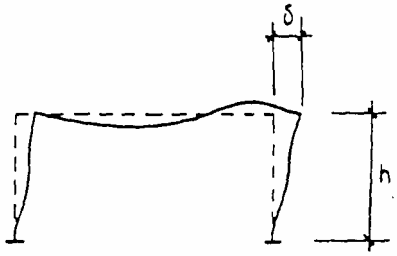
7.2.2. Határértékek

(1) A függőleges lehajlások alakulását a 7.1 táblázat mutatja.

$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$  	δ_{max} - a támaszokat összekötő egyenes vonalhoz viszonyított végleges lehajlás δ_0 - a terheletlen gerenda kezdeti felemelkedése (túlemelés) (0. állapot) δ_1 - a gerenda lehajlásának állandó terhek miatti megváltozása (1. állapot) δ_2 - a gerenda lehajlásának változó terhek miatti megváltozása (2. állapot)
7.1 táblázat: Figyelembe veendő függőleges lehajlások	

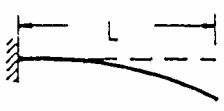
Szerkezetek, terhelési körülmények	Határértékek	
	δ_{max}	δ_2
- tetők általában	L/200	L/250
- járható tetők (a fenntartáson kívül is)	L/250	L/300
- födémek általában	L/250	L/300
- rideg burkolatot, vagy nem-rugalmas szerkezeti rétegeket tartalmazó tetők és födémek	L/250	L/350
- oszlopokat alátámasztó födémek (kivéve, ha a teherbírási határállapotra elvégzett erőtani számításban a lehajlások hatása figyelembe lett véve)	L/400	L/500
Ahol δ_{max} az épület megjelenését kedvezőtlenül befolyásolhatja	L/250	-
Konzolos gerendáknál: *L* – a konzol hosszának kétszerese		
Esővíz elvezetés: - ha a tető lejtése kevesebb, mint 5%, ellenőrizni kell, hogy az esővíz nem gyűlik-e össze tócsákban; - ha a tető lejtése kevesebb, mint 3%, azt is ellenőrizni kell, hogy az esővíz saját súlyából adódó többlet-lehajlás nem okoz-e károsodást.		
7.2 táblázat: A függőleges lehajlások ajánlott határértékei		

(2) Épületekre az ajánlott vízszintes elmozdulási határértékek az oszlopok felső végén értelmezve: (7.3 táblázat)

Többszintes épület	Egyszintes épület
	
$\delta_1 \le h_1/300$ $\delta_2 \le h_2/300$ $\delta_0 \le h_0/500$	Daru nélküli portálkeretek: $\delta \le h/150$ Egyéb egyszintes épületek: $\delta \le h/300$
7.3 táblázat: A vízszintes elmozdulások ajánlott határértékei	

(3) Födémek rezgései

Ha a frekvenciák és a lehajlás értékei a 7.4 táblázatban adott értékeknél kisebbek, a szerkezet rezgései, rázkódásai nem okoznak kényelmetlenségeket.

	Legalacsonyabb önrezgésszám f_o [Hz]	Teljes lehajlás korlátjai $\delta_1 + \delta_2$ [mm]
Emberi közlekedésre szolgáló födémek	3	28
Ritmikus mozgással (ugrálás, táncolás) terhelt födémek	5	10
$f_o = \frac{1}{2\pi}\frac{\alpha}{L^2}\sqrt{\frac{EI}{m}}$ [Hz]		
f_o - önrezgésszám E – rugalmassági modulus I - inercianyomaték L - fesztáv m – hosszegységre jutó tömeg α - az alapmódushoz tartozó frekvenciatényező		
		
$\alpha = 9.869$	$\alpha = 22.37$	$\alpha = 3.516$	$\alpha = 15.418$
7.4 táblázat: Födémek rezgéseinek ajánlott határértékei			

8. Szerkezeti kapcsolatok

8.1. Kötőelemek: Csavarozott, szegecselt és csapos kapcsolatok

8.1.1. γ_M parciális biztonsági tényezők

rudak és keresztmetszetek ellenállása	$\gamma_{M0} = 1{,}00$, $\gamma_{M1} = 1{,}00$ és $\gamma_{M2} = 1{,}25$
csavarozott kapcsolatok ellenállása	$\gamma_{M2} = 1{,}25$
szegecselt kapcsolatok ellenállása	
csapos kapcsolatok ellenállása	
hegesztett kapcsolatok ellenállása	
palástnyomási ellenállás	
megcsúszási ellenállás: - hibrid kapcsolatok vagy fárasztó teher esetén - további esetek	$\gamma_{M3} = 1{,}25$ $\gamma_{M3} = 1{,}10$
injektált csavar teherbírási ellenállása	$\gamma_{M4} = 1{,}00$
vékonyfalú zártszelvényű rácsos tartók kapcsolatainak ellenállása	$\gamma_{M5} = 1{,}00$
csapos kapcsolatok ellenállása használhatósági határállapotban	$\gamma_{M6,ser} = 1{,}00$
nagyszilárdságú csavarok előfeszítése	$\gamma_{M7} = 1{,}10$

8.1 táblázat Parciális biztonsági tényezők

8.1.2. Csavarok f_{yb} folyási szilárdságának és f_{ub} húzási szakadási szilárdságának nominális értékei (8.2 táblázat)

Csavarminőség	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm^2)	240	300	480	640	900
f_{ub} (N/mm^2)	400	500	600	800	1000

8.2 táblázat Csavarok folyási és húzási szakadási szilárdságának nominális értékei

8.2. Csavarozott kapcsolatok ellenállása

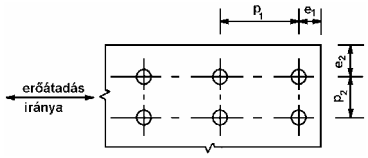
A csavarozott kapcsolatok ellenállásait a 8.3 táblázat foglalja össze.

Osztály	Feltétel	Megjegyzés
Nyírt csavarok		
A palástnyomásra működő	$F_{v,Ed} \le F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \le F_{b,Rd}$	Feszítés nem szükséges Minden minőség 4.6 és 10.9 között
B használati határállapotban megcsúszásnak ellenálló	$F_{v,Ed.ser} \le F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \le F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \le F_{b,Rd}$	Feszített nagyszilárdságú csavarok (8.8 vagy 10.9) Nincs megcsúszás a használati határállapotban
C teherbírási határállapotban megcsúszásnak ellenálló	$F_{v,Ed} \le F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \le F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \le N_{net,Rd}$	Feszített nagyszilárdságú csavarok (8.8 vagy 10.9) Nincs megcsúszás a teherbírási határállapotban $N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M1}}$
Húzott csavarok		
D nem feszített csavarok	$F_{t,Ed} \le F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \le B_{p,Rd}$	Feszítés nem szükséges Minden minőség 4.6 és 10.9 között

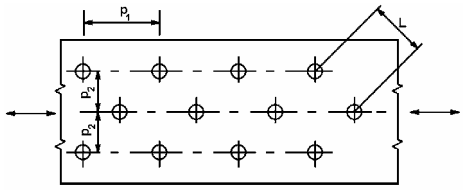
		$B_{p,Rd} = 0{,}6\,\pi\,d_m\,t_p f_u / \gamma_{M2}$
E feszített csavarok	$F_{t,Ed} \le F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \le B_{p,Rd}$	Feszített nagyszilárdságú csavarok (8.8 vagy 10.9) $B_{p,Rd} = 0{,}6\,\pi\,d_m\,t_p f_u / \gamma_{M2}$

8.3 táblázat Csavarozott kapcsolatok ellenállásai

8.2.1. Csavar- és szegecslyukak elhelyezése (8.1 ábra)

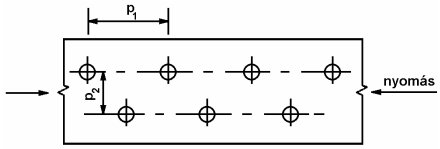


(a) osztástávolságok jelölése

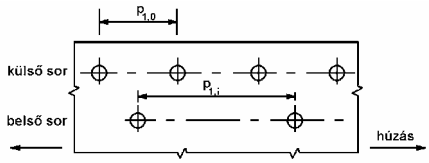


(b) eltolt csavarsorok osztásainak jelölése

$p_2 \ge 1{,}2 d_0$
$L \ge 2{,}4 d_0$



(c) eltolt csavarsorok osztástávolsága nyomott elemben



(d) eltolt csavarsorok osztástávolsága húzott elemben

$p_1 \le 14t$ és ≤ 200 mm
$p2 \le 14t$ és ≤ 200 mm

$p_{1,o} \le 14t$ és ≤ 200 mm (külső sor)
$p_{1,i} \le 28t$ és ≤ 400 mm (belső sor)

8.1 ábra Csavarlyukak elhelyezése

8.2.2. Minimális és maximális osztástávolságok, az elem végétől és szélétől mért távolságok (8.4 táblázat)

Méret	Minimális távolság	Maximális távolság[1)2)3)]		
		EN 10025 szerinti szerkezeti acélok, kivéve EN 10025-5		EN 10025-5 szerinti szerkezeti acélok
		fokozott korrózióveszély	nincs fokozott korrózióveszély	normál acélok
e_1	1,2 d_0	4t + 40 mm		max (8t, 125 mm)
e_2	1,2 d_0	4t + 40 mm		max (8t, 125 mm)
e_3	1,5 d_0			
e_4	1,5 d_0			
p_1	2,2 d_0	min (14t, 200 mm)	min (14t, 200 mm)	min ($14t_{min}$, 175 mm)
$p_{1,0}$		min (14t, 200 mm)		
$p_{1,i}$		min (28t, 400 mm)		
p_2 [4)]	2,4 d_0	min (14t, 200 mm)	min (14t, 200 mm)	min ($14t_{min}$, 175 mm)

[1] Az osztástávolságok, elemvég- és széltávolságoknak nincs maximális értéke, kivéve a következőket:
- nyomott elemeknél a lokális kihajlás, illetve a korróziós tönkremenetel elkerülése végett az annak kitett elemeknél, valamint
- húzott elemeknél a korróziós tönkremenetel elkerülése érdekében.

[2] Két kötőelem közötti nyomott lemezelem lokális kihajlása $0,6 \times p_i$ kihajlási hosszú nyomott oszlopként számítható. A kötőelemek közötti lokális kihajlást nem kell ellenőrizni, ha $p_1/t < 9\varepsilon$. A széltávolság nem haladhatja meg a nyomott szabad lemezszélre vonatkozó lokális kihajlási előírásokat. A végtávolságot ez az előírás nem befolyásolja.

[3] t a kapcsolt elemek közül a vékonyabb külső elem vastagsága

[4] Eltolt csavarsorok esetén a minimális sortávolságra $p_2 = 1,2\ d_0$ alkalmazható, ha az eltolt sorok bármely két kötőeleme közötti minimális távolság $L \geq 2,4\ d_0$.

8.4 táblázat Minimális és maximális csavartávolságok

8.2.3. Egyes kötőelemek tervezési ellenállása nyírás és/vagy húzás esetén (8.5 táblázat)

Tönkremenetel módja	Csavarok	Szegecsek
Nyírt felületenkénti nyírási ellenállás	$F_{v,Rd} = \dfrac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ + ha a nyírt sík a csavar menetes részén halad át A = A_s a csavar feszültség-keresztmetszete - 4.6, 5.6 és 8.8 anyagú csavar esetén: $\alpha_v = 0,6$ - 4.8, 5.8, 6.8 és 10.9 anyagú csavar esetén: $\alpha_v = 0,5$ + ha a nyírt sík a csavar menet nélküli részén halad át A a csavarszár keresztmetszete $\alpha_v = 0,6$	$F_{v,Rd} = \dfrac{0,6 f_{ur} A_o}{\gamma_{M2}}$
Palástnyomási ellenállás[1)2)3)]	$F_{b,Rd} = \dfrac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ ahol $\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \dfrac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$ a teherátadás irányában: - szélső csavarokra: $\alpha_d = \dfrac{e_1}{3d_0}$, belső csavarokra: $\alpha_d = \dfrac{p_1}{3d_0} - \dfrac{1}{4}$ a teherátadás irányára merőlegesen: - szélső csavarokra: $k_1 = \min\left(2,8\dfrac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$ - belső csavarokra: $k_1 = \min\left(1,4\dfrac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right)$	
Húzási ellenállás[2)]	$F_{t,Rd} = \dfrac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ ahol $k_2 = 0,63$ süllyesztett fejű csavarokra $k_2 = 0,9$ egyébként	$F_{t,Rd} = \dfrac{0,6 f_{ur} A_o}{\gamma_{M2}}$
Kigombolódási ellenállás	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	nem kell ellenőrizni
Összetett igénybevétel: húzás és nyírás	$\dfrac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \dfrac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	

[1] Az $F_{b,Rd}$ palástnyomási ellenállás:
- túlméretes csavarlyuk esetén a normál csavarlyukú csavarok palástnyomási ellenállásának 0,8-szerese;
- hasított csavarlyuk esetén, ahol a hasított csavarlyuk hossztengelye merőleges az erőátadás irányára, a normál csavarlyukú csavarok palástnyomási ellenállásának 0,6-szerese.

[2] Süllyesztett fejű csavaroknál:
- az $F_{b,Rd}$ palástnyomási ellenállás meghatározásánál a t lemezvastagságból le kell vonni a süllyeszték mélységének felét;
- az $F_{t,Rd}$ húzási ellenállás meghatározásánál a süllyesztésnek szabványosnak kell lennie, máskülönben a húzási ellenállást módosítani kell a tényleges kialakításnak megfelelően.

[3] Ha a csavarra jutó erő nem párhuzamos a lemezszéllel, a palástnyomási ellenállást külön kell ellenőrizni a csavarra jutó erő lemezszéllel párhuzamos és arra merőleges komponenseire.

8.5 táblázat Kötőelemek nyírási és/vagy húzási ellenállásai

(1) 8.8 és 10.9 csavarminőségű NF-kapcsolat esetén a feszítőerő tervezési értéke $F_{p,Cd}$ a következő:

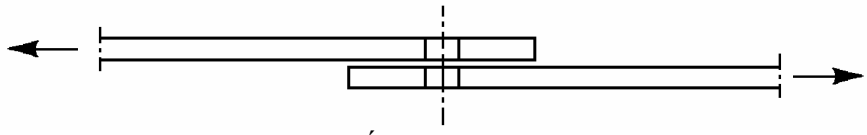
$$F_{p,Cd} = 0{,}7\, f_{ub}\, A_s / \gamma_{M7}$$

A 8.5 táblázatban lévő nyírási ellenállási $F_{v,Rd}$ értékek szabványos furatú csavarkapcsolatoknál alkalmazhatók.

(2) M12 és M14-es csavarok esetén is alkalmazható 2 mm-es lyukhézag (a lyukátmérő és a lyukba kerülő csavar szárátmérője közötti különbség), ha a csavarkép palástnyomási ellenállása egyenlő vagy nagyobb a csavarkép nyírási ellenállásánál. Ekkor a 4.8, 5.8, 6.8, 8.8 vagy 10.9-es csavarminőségű kapcsolat nyírási ellenállása a 8.5 táblázatból meghatározott érték 0,85-szöröse.

(3) Egyszerű átlapolt lemezkötés és egy csavarsor esetén (8.2 ábra) a csavarkötésben alátétet kell alkalmazni a csavarfej és a csavaranya alatt is, a csavarok palástnyomási ellenállásának $F_{b,Rd}$ felső határa pedig:

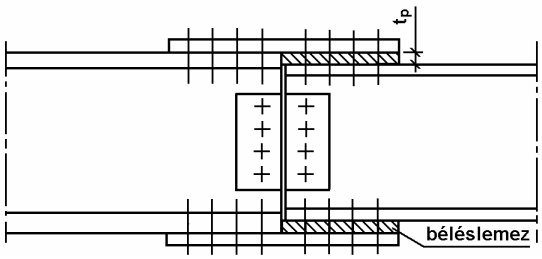
$$F_{b,Rd} \le 1{,}5\, f_u\, d\, t / \gamma_{M2}$$



8.2 ábra Átlapolt lemezkötés

(4) Ha a csavarok vagy szegecsek nyírásos és palástnyomásos kapcsolatban béléslemezen (8.3 ábra) keresztül adják át az erőt, mely béléslemez t_p vastagsága nagyobb, mint a d névleges átmérő egyharmada, a fenti táblázatból meghatározott nyírási ellenállás tervezési értékét csökkenteni kell β_p csökkentő tényezővel:

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \quad \text{, de} \quad \beta_p \le 1$$



8.3 ábra Béléslemezes kapcsolat

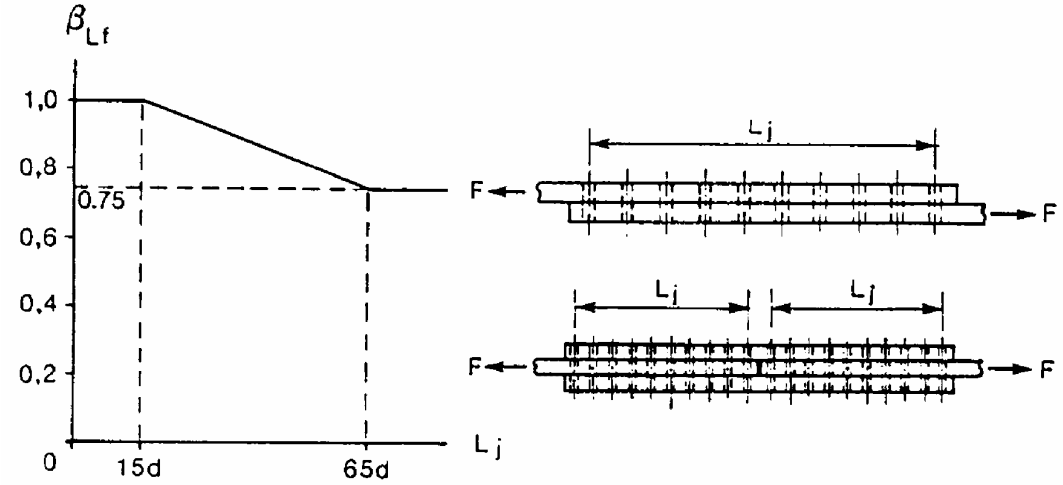
(5) Szegecselt kapcsolatokat nyírásos teherátadásra kell méretezni. Ha a húzás is szükséges az egyensúly kielégítéséhez, akkor a húzóerő tervezési értéke $F_{t,Ed}$ nem haladhatja meg a 8.5 táblázatban megadott $F_{t,Rd}$ húzási ellenállást.

Általános szabályként a szegecs átfogási hossza nem haladhatja meg a 4,5d értéket kalapácsos szegecselésnél és a 6,5d értéket sajtolásos szegecselésnél.

8.2.4. Hosszú kapcsolatok

Hosszú kapcsolatokban (8.4 ábra), ahol a két végső csavar erőátadás irányában mért L_j tengelytávolsága 15 d-nél nagyobb, a nyírt csavarok $F_{v,Rd}$ nyírási ellenállását a következő tényezővel kell csökkenteni:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15\,d}{200\,d} \quad \text{, ahol } 0{,}75 \le \beta_{LF} \le 1{,}0$$



8.4 ábra Hosszú kapcsolatok

8.2.5. 8.8 vagy 10.9 csavarok megcsúszásnak ellenálló kapcsolatokban

(1) Megcsúszási ellenállás

8.8 vagy 10.9-es előfeszített csavarok megcsúszási ellenállása:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s\, n\, \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,Cd}$$

ahol: $k_s = 1{,}0$ normál csavarlyukra;
$k_s = 0{,}85$ túlméretes és rövid hasíték lyukakra (a hasíték iránya merőleges az erőátadás irányára);
$k_s = 0{,}7$ hosszú hasíték lyukakra (a hasíték iránya merőleges az erőátadás irányára);
$k_s = 0{,}76$ túlméretes és rövid hasíték lyukakra (a hasíték iránya párhuzamos az erőátadás irányával);
$k_s = 0{,}63$ hosszú hasíték lyukakra (a hasíték iránya párhuzamos az erőátadás irányával);
n a súrlódó felületek száma
μ a felület-előkészítéstől függő súrlódási tényező

Felület-előkészítési osztályok	μ súrlódási tényező
A – sörétezett vagy szemcsefútt, de festetlen felületek	0,5
B – sörétezett vagy szemcsefútt, majd festett felületek	0,4
C – drótkefézéssel vagy lángszórással tisztított felületek	0,3
D – kezeletlen felületek	0,2
Egyéb felület-előkészítés esetén kísérleti úton kell a besorolást elvégezni.	

8.6 táblázat Felület előkészítési osztályok

(2) **Húzás és nyírás kombinációja**

Ha a megcsúszásnak ellenálló kapcsolatot húzóerő $F_{t,Ed}$ és nyíróerő $F_{v,Ed}$ is terheli, a megcsúszási ellenállás a következő:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \; n \; \mu \; (F_{p,Cd} - 0{,}8 \; F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

8.2.6. Kötőelemlyukak okozta gyengítések

(1) "Együttes nyírás" – hatékony nyírt felületek (8.5 ábra)

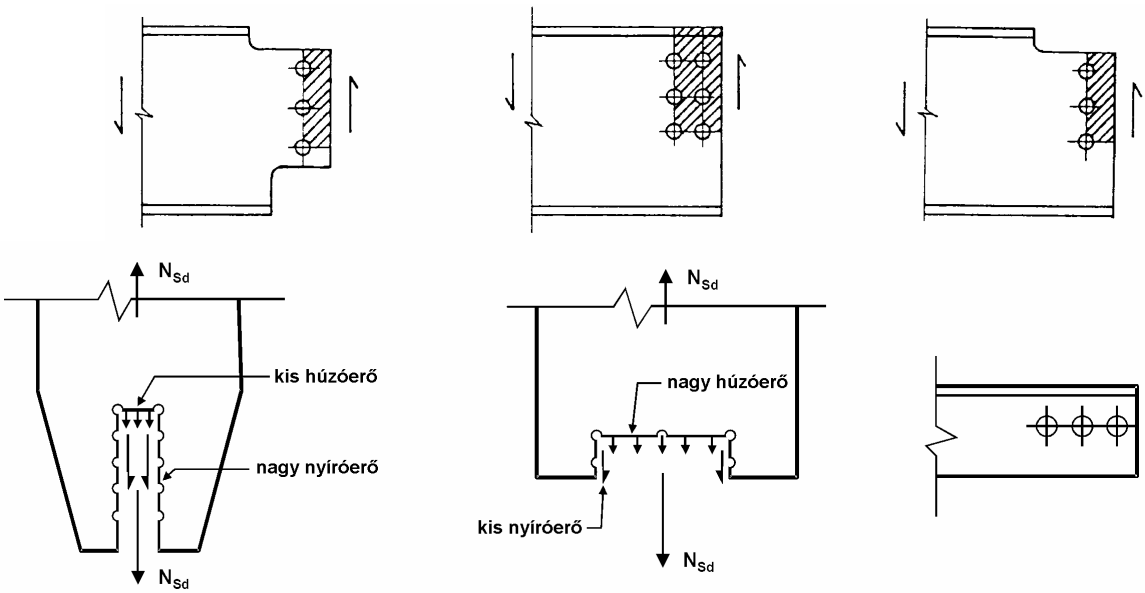
Az "együttes nyírási" ellenállás tervezési értéke szimmetrikus csavarkép és központos terhelés esetén:

$$V_{eff,1,Rd} = f_u \, A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) \, f_y \, A_{nv} / \gamma_{M0}$$

ahol: A_{nt} a húzásnak kitett tiszta terület
A_{nv} a nyírásnak kitett tiszta terület

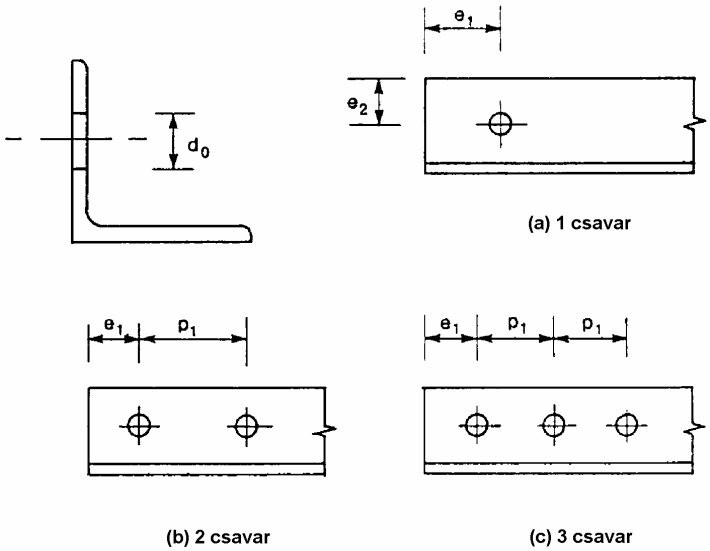
Gerendavégeknél, ahol a nyíróerő külpontosan hat a csavarkép súlypontjához képest, az együttes nyírás tervezési értéke:

$$V_{eff,2,Rd} = 0{,}5 \, f_u \, A_{nv} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) \, f_y \, A_{nt} / \gamma_{M0}$$



8.5 ábra Hatékony nyírt felületek

(2) Egyik szárán kapcsolt szögacél (8.6)



8.6 ábra Egyik szárán kapcsolt szögacél

Az egyik szárán kapcsolt szögacél tervezési ellenállása a következő:

$$N_{u,Rd} = \frac{2{,}0\ (e_2 - 0{,}5d_o)\ t\ f_u}{\gamma_{M2}}$$ 1 csavar esetén

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2\ A_{net}\ f_u}{\gamma_{M2}}$$ 2 csavar esetén

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3\ A_{net}\ f_u}{\gamma_{M2}}$$ 3 vagy több csavar esetén

ahol: A_{net} a szögacél gyengített keresztmetszeti területe. Rövidebb szárán kapcsolt egyenlőtlen szárú szögacélnál A_{net} értéke nem vehető nagyobbra, mint a kisebbik oldal hosszúságával megegyező szárméretű, képzelt egyenlő szárú szögacél gyengített keresztmetszeti területe.

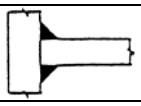
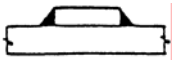
β_2 és β_3 a csavarlyukak p_1 távolságától függő csökkentő tényezők a 8.7 táblázatban megadott értékekkel. A közbenső értékek lineáris interpolációval számíthatók.

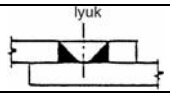
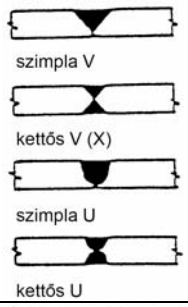
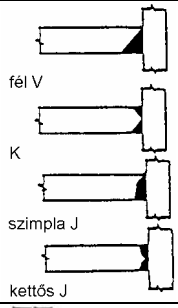
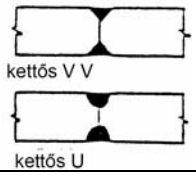
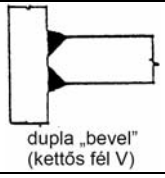
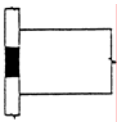
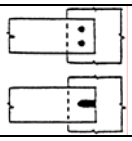
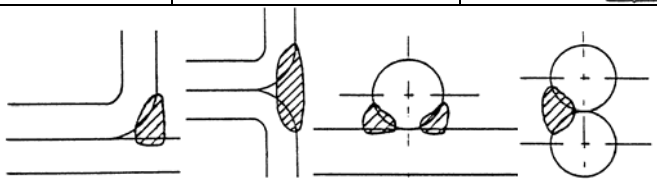
csavarlyukak távolsága p_1		≤ 2,5 d_0	≥ 5,0 d_0
2 csavar	β_2	0,4	0,7
3 vagy több csavar	β_3	0,5	0,7

8.7 táblázat Csökkentő tényezők

8.3. Hegesztett kapcsolatok

8.3.1. Hegesztett kötések általános típusai (8.8 táblázat)

	kötéstípus		
Varrattípus	tompakötés	T-kötés	átlapolt kötés
sarokvarrat			

lyukperemvarrat			
teljes beolvadású tompavarrat[1)]			
részleges beolvadású tompavarrat[1)]			
telivarrat			
horonyvarrat			

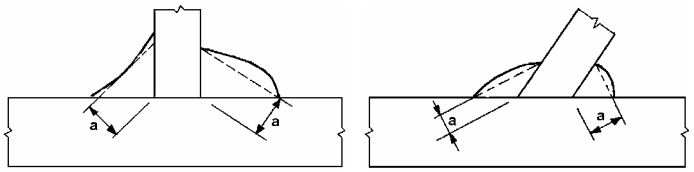
[1)]Esetenként a tompavarratok bármilyen vágásos élmegmunkálás nélkül is kialakíthatók.

8.8 táblázat Hegesztett kötések típusai

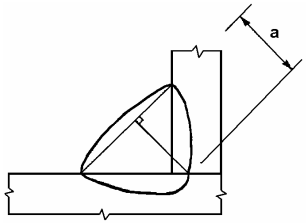
8.3.2. Sarokvarratok (8.7 ábra)

(1) **Hasznos varrathossz**: A teljes varrathossz figyelembe vehető. Ha a varratkezdet és befejezés nem teljes értékű, akkor 2×a értékkel csökkenthető a teljes hossz (kezdő és végkráter hossza). 30 mm-nél vagy 6×a méretnél rövidebb sarokvarratok erőátadás szempontjából nem vehetők figyelembe.

(2) **Hasznos varratméret a**: A sarokvarrat hasznos mérete nem lehet kisebb 3 mm-nél.



Sarokvarratok hasznos varratmérete

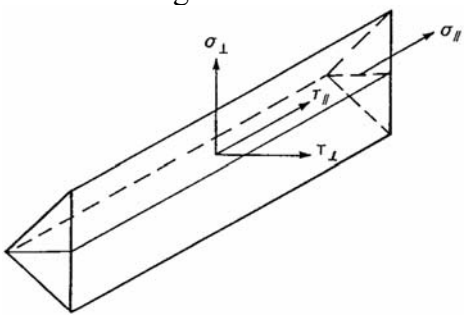


8.7 ábra Mélybeolvadású sarokvarrat hasznos varratmérete

Sarokvarratok tervezési ellenállása: (8.8 ábra)

A sarokvarrat tervezési keresztmetszete $A_w = \sum a\ \ell_{eff}$

A sarokvarratban keletkező feszültségek:



8.8 ábra Varrat feszültségkomponensei

$\sigma_\perp$ a varrattengelyre merőleges normálfeszültség

σ_{II} a varrattengellyel párhuzamos normálfeszültség (varratméretezésnél nem vesszük figyelembe)

$\tau_\perp$ a varrattengelyre merőleges nyírófeszültség

τ_{II} a varrattengellyel párhuzamos nyírófeszültség

A sarokvarratnál a következő két feltétel teljesülését kell kimutatni:

$$[\sigma_\perp^2 + 3\,(\tau_\perp^2 + \tau_{//}^2)]^{0,5} \le f_u / (\beta_w\,\gamma_{M2})$$

$$\sigma_\perp \le f_u / \gamma_{M2}$$

ahol: f_u – a kapcsolódó elemek szakítószilárdsága közül a kisebb

β_w – a megfelelő korrekciós tényező 8.9 táblázat

Szabvány és acélminőség **EN 10025**	β_w korrekciós tényező
S 235, S 235 W	0,8
S 275, S 275 N/NL, S 275 M/ML	0,85
S 355, S 355 N/NL, S 355 M/ML, S 355 W	0,9
S 420 N/NL, S 420 M/ML	1,0
S 460 N/NL, S 460 M/ML, S 460 Q/QL/QL1	1,0

8.9 táblázat Korrekciós tényezők

Egyszerűsített módszer sarokvarratok ellenállására:

A sarokvarratra jutó összes erőt figyelembe véve:

$$F_{w,Ed} \le F_{w,Rd}$$

ahol: $F_{w,Ed}$ - varrat egységnyi hosszára eső fajlagos erőt

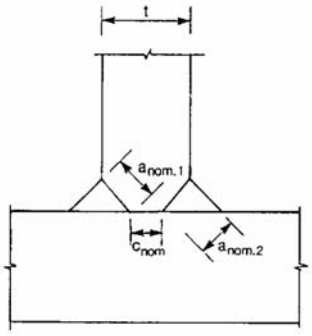
$F_{w,Rd} = f_{vw,d}\ a$ – a varrat fajlagos ellenállása

ahol: $f_{vw.d}$ – a varrat nyírószilárdsága

$$f_{vw.d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

8.3.3. Tompavarratok tervezési ellenállása (8.9 ábra)

Teljes beolvadású tompavarratok tervezési ellenállása megegyezik az alapanyag tervezési ellenállásával.
Részleges beolvadású tompavarratokat mélybeolvadású sarokvarratként kell méretezni.
Tompa T-kötés:



8.9 ábra Tompavarrat

A tompa T-kötésű varrat teljes beolvadású tompavarratként kezelhető, ha:

$a_{nom,1} + a_{nom,2} \geq t$ (a T-kötés szárának vastagsága), és

$c_{nom} \leq \min(t/5; 3mm)$.

Ha a fenti feltételeket nem elégíti ki a T-kötés, akkor kétoldali sarokvarratként, vagy kétoldali mélybeolvadású sarokvarratként kell számítani, a beolvadási mélység függvényében.

Irodalom:

Iványi M. (koordinátor):
Acélszerkezetek tervezése az Eurocode 3 szerint
Oktató csomag az EC3 oktatásához
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001

Iványi M. (szerkesztette)
EUROCODE – Kézikönyv: Acélszerkezetek
A lemezhorpadás szerepe és vizsgálata
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002

Iványi M. (szerkesztette)
EUROCODE – Kézikönyv: Acélszerkezetek
Táblázatok és méretezési példatár
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002

Halász O. - Iványi M.: Stabilitáselmélet
Acélszerkezetek méretezésének elvei és módszerei
Akadémiai Kiadó, Budapest, 2001

Iványi M.: Hídépítéstan. Acélszerkezetek
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998

Iványi M.: TÁBLÁZATOK acélszerkezetek méretezéséhez az Eurocode 3 szerint
Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2004