

Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint

Gyakorlati útmutató

**Dunai László, Horváth László, Kovács Nauzika, Varga Géza, Verőci Béla,
Vigh L. Gergely**

(az Útmutató jelen készütségi szintjén a Tartalomjegyzékben dőlt betűvel jelölt részeket nem tartalmazza.

Verzió 2007.10.12.)

Az előző verzióhoz képest az alábbiak változtak:

3.3.6. fejezet: táblázatok és kidolgozott feladatok pontosítása

Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. Eurocode – általános bevezető.....	4
2.1 Az Eurocode felépítése.....	4
2.2 Az Eurocode méretezési elvei.....	4
2.3 Jelölésrendszer.....	4
2.4 Anyagminőségek.....	4
3. Szerkezeti elemek méretezése.....	5
3.1 Szerkezeti elemek méretezési elvei.....	5
3.1.1 Szerkezeti elemek viselkedése.....	5
3.1.2 Keresztmetszetek osztályozása.....	6
3.1.3 A 4. osztályú keresztmetszet.....	11
3.2 Keresztmetszetek ellenállása.....	15
3.2.1 Központosan húzott keresztmetszetek.....	15
Mintapélda: 3.1; 3.2	
3.2.2 Központosan nyomott keresztmetszetek.....	20
Mintapélda: 3.3; 3.4	
3.2.3 Nyírt keresztmetszetek.....	24
3.2.4 Hajlított keresztmetszetek.....	25
Mintapélda: 3.5	
3.2.5 Összetett igénybevétellel terhelt keresztmetszetek.....	29
Mintapélda: 3.6; 3.7; 3.8	
3.3 Stabilitási ellenállás.....	39
3.3.1 Stabilitásvesztési módok.....	39
3.3.2 Nyomott elemek kihajlása.....	47
Mintapélda: 3.9; 3.10; 3.11; 3.12	
3.3.3 Hajlított elemek kifordulása.....	64
Mintapélda: 3.13	
3.3.4 Nyomott lemezek horpadása.....	75
3.3.5 Nyírt lemezek horpadása.....	76
Mintapélda: 3.14	
3.3.6 Kölcsönhatások.....	82
Mintapélda: 3.15; 3.16	
4. Szerkezeti kapcsolatok méretezése.....	96
4.1 Kapcsolatok kialakítása és méretezési elvei.....	96
4.1.1 Kapcsolatok kialakítása, osztályozása.....	96
4.1.2 Kapcsolatok méretezési elvei.....	98
4.2 Csavarozott kapcsolatok ellenállása.....	101
4.2.1 Csavarozott kötések méretezési elvei.....	101
4.2.2 Húzott/nyomott elemek csavarozott kapcsolatai.....	109
Mintapélda: 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.6; 4.7	
4.2.3 Hajlított-nyírt elemek csavarozott kapcsolatai.....	129
Mintapélda: 4.8; 4.9; 4.10	

4.3 Hegesztett kapcsolatok ellenállása.....	145
4.3.1 Hegesztési varratok méretezési elvei.....	145
4.3.2 Húzott/nyomott elemek hegesztett kapcsolatai.....	143
Mintapélda: 4.11; 4.12; 4.13; 4.14; 4.15; 4.16; 4.17	
4.3.3 Hajlított-nyírt elemek hegesztett kapcsolatai.....	160
4.4 Rácsos tartó csomópontok ellenállása.....	161
4.4.1 Szerkezeti kialakítás és méretezési elv.....	161
4.4.2 K csomópontok ellenállása.....	164
Mintapélda: 4.18	
5. Szerkezetek méretezése.....	175
5.1 Magasépítési rácsos tartó.....	175
5.1.1 Rácsos tartó szerkezeti kialakítása.....	175
5.1.2 Acél rácsos tartó tervezése – házi feladat.....	181
5.2 Tömör gerendatartó.....	199
5.2.1 Tömör gerendatartó szerkezeti kialakítása és viselkedése.....	199
5.2.2 Melegen hengerelt gerendatartó.....	206
Mintapélda: 5.1; 5.2	
5.2.3 Hegesztett gerendatartó.....	211
Mintapélda: 5.3; 5.4	
5.2.4 Ipari acélszerkezet gerendatartóinak méretezése – házi feladat.....	218
5.3 Osztott szelvényű nyomott oszlop.....	227
5.3.1 Szerkezeti kialakítás.....	227
5.3.2 Szerkezeti viselkedés.....	228
5.3.3 Méretezés.....	229
Mintapélda: 5.5	
Függelék.....	237
F1 Acélszerkezeti termékek.....	237
F1.1 Melegen hengerelt I- és H-szelvények.....	237
F1.2 Zártszelvények.....	237
F2 Összetett szelvények – keresztmetszeti jellemzők.....	238
F3 Szabványos rajzi jelölések.....	239
F4 Anyagkiválasztás.....	240

1. Bevezetés

Acélszerkezetek Eurocode alapú méretezésével több közelmúltban megjelent könyv, tervezési segédlet, tanfolyami kiadvány foglalkozik. Jelen gyakorlati útmutató célja az Eurocode 3 szabványok alapvető mértezési eljárásainak bemutatása mintapéldákon keresztül. A példatár az Acélszerkezetek I és Acélszerkezetek II. tantárgyak oktatásához, az Eurocode szabvány szerinti tervezési-mértezési lépések begyakorlására készült. A gyakorlati útmutató a szükséges elméleti háttérrel röviden összefoglalja, de részleteiben nem tárgyalja.

A gyakorlati útmutató felépítése azt a rendszert követi, amely megszokott az acélszerkezetek mértezési eljárásainak ismertetésénél, igazodva a tartószerkezeti Eurocode-okban alkalmazott egységes vázhoz. A második fejezetben az Eurocode felépítését, legfontosabb mértezési elveit tárgyaljuk, ismertetjük az Eurocode jelölésrendszerét és az anyagminőségeket. A harmadik fejezetben az alapvető szerkezeti elemek – húzott, nyomott rudak, hajlított gerendák – mértezésére közlünk mintapéldákat: keresztmetszetek szilárdsági határállapoton alapuló ellenállás számítására, illetve stabilitási határállapotok vizsgálatára összesen 16 példát. Mechanikus és hegesztett acélszerkezeti kapcsolatok mértezésével foglalkozik a negyedik fejezet, amely 18 kidolgozott példát tartalmaz. Az ötödik fejezetben viszonylag egyszerű szerkezetek – gerendák, osztott szelvényű oszlopok – mértezésére készült 5 mintapélda található.

A gyakorlati útmutatót folyamatosan bővítjük a szabvány további eljárásait bemutató mintapéldákkal.

2. Eurocode – általános bevezető

2.1. Az Eurocode felépítése

2.2. Az Eurocode méretezési elvei

2.3. Jelölésrendszer

2.4. Anyagminőségek

3. Szerkezeti elemek méretezése

3.1. Szerkezeti elemek méretezési elvei

3.1.1. Szerkezeti elemek viselkedése

3.1.2. Keresztmetszetek osztályozása

Az Eurocode 3 a keresztmetszetek szilárdsági jellegű tönkremenetelét, valamint az ún. hosszirányú normálfeszültségek okozta horpadását egységesen kezeli, a keresztmetszeti osztályok bevezetésével. Mivel csak a nyomó normálfeszültségek okozhatnak horpadást, egy adott keresztmetszet osztályba sorolására csak akkor van szükség, ha legalább részben nyomott. Ekkor tehát a keresztmetszet viselkedését a folyás megjelenése mellett a lemezek stabilitásvesztése, azaz horpadása is befolyásolja. A keresztmetszeteket eszerint annak alapján fogjuk osztályozni, hogy e két jelenség (folyás és lemezhorpadás) egymáshoz képest mikor jelentkezik.

Tiszta hajlítás esetén négy eset lehetséges (3.1. ábra). Első lehetőség, hogy a lemezhorpadás a szélső szál megfolyása előtt következik be; az ilyen keresztmetszeteket 4. osztályúnak nevezzük. Ha a lemezhorpadás a szélső szál megfolyása után, de a keresztmetszet teljes képlékenyedése előtt következik be, a keresztmetszet 3. osztályú. Ha a lemezhorpadás a teljes képlékenyedés után, de viszonylag kis alakváltozások lejátszódása előtt következik be, a keresztmetszetet 2. osztályúnak nevezzük. Ha pedig a lemezhorpadás bekövetkezte előtt viszonylag nagy alakváltozások játszódnak le, a keresztmetszet 1. osztályú.

Tiszta nyomás esetén két eset van: vagy a keresztmetszet teljes megfolyása következik be előbb (ekkor a keresztmetszet 1. osztályú), vagy pedig a lemezhorpadás (ekkor a keresztmetszet 4. osztályú). 2. és 3. keresztmetszeti osztályról tiszta nyomás esetén nincs értelme beszélni, hiszen ilyenkor az első folyás és a korlátozatlan folyás határállapota egybeesik (azaz az első folyás megjelenésével elméletileg egy időben a teljes keresztmetszet megfolyik), és a folyást mindig nagy alakváltozások kísérik (azaz a korlátozatlan folyás bekövetkezte után elméletileg már nem alakulhat ki lemezhorpadás).

Nyomott-hajlított keresztmetszeteknél, továbbá olyan húzott-hajlított keresztmetszetek esetén, amelyek nyomott lemezekkel is rendelkeznek („nagy külpontosságú húzás” esete) a tiszta hajlításhoz hasonlóan ugyancsak négy keresztmetszeti osztályt különböztetünk meg, ugyanazon kritériumok alapján.

A keresztmetszet osztálya a geometriai arányok és az anyagminőség mellett attól is függ, hogy milyen igénybevétel hat rá. Szélső esetben olyan keresztmetszet is kialakítható, amely bizonyos igénybevételekre 1. osztályúként, másokra 4. osztályúként viselkedik.

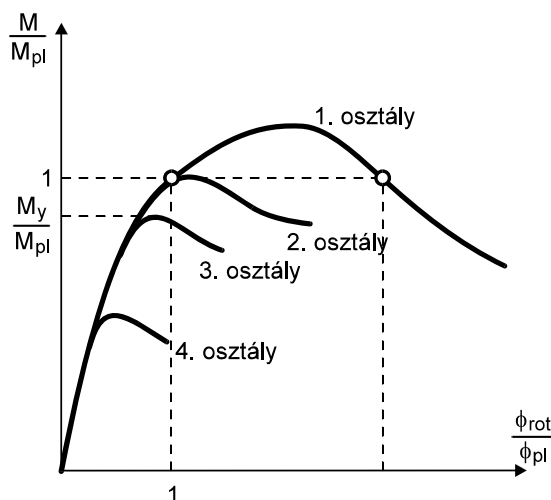
A keresztmetszet osztályának eldöntése a 3.1. – 3.4. táblázatok alapján történik (jelmagyarázatot a 3.2. táblázat és a 3.2. ábra tartalmaz). A keresztmetszetet alkotó nyomott lemezelemek mindegyikét meg kell vizsgálni, és meg kell határozni az egyes alkotó lemezek osztályát. (Hogy mi számít lemezelemnek, azt az osztályozási táblázatok ábrái jelzik, lsd. a 3.1. – 3.4. táblázatok). A keresztmetszet osztályát ezek után a legkedvezőtlenebb (tehát legnagyobb jelzőszámú) alkotó lemez osztálya adja.

A keresztmetszeti osztály meghatározásának elve tehát a következő lépésekben történik (gyakorlati megoldás a későbbi mintapéldákban):

1. Elsőként meghatározzuk a keresztmetszetben fellépő feszültségek eloszlását az adott igénybevétel hatására, *képlékeny alapon*.
2. Minden egyes, legalább részben nyomott lemezelemre kikeressük a táblázatból az 1-2., illetőleg a 2-3. osztály közötti osztályozási határt, és megállapítjuk, hogy e lemezelemek mindegyike besorolható-e az 1. vagy a 2. osztály valamelyikébe.
3. Ha igen, akkor kész vagyunk: ha találtunk 2. osztályú lemezelemet, akkor a keresztmetszet 2. osztályú; ha valamennyi lemezelem 1. osztályúnak bizonyult, akkor a keresztmetszet is 1. osztályú.
4. Ha nem, akkor meghatározzuk a keresztmetszetben fellépő feszültségek eloszlását az adott igénybevétel hatására, *rugalmas alapon*.

5. Minden egyes olyan, legalább részben nyomott lemezelemre, amelynek osztályát a 2. pontban nem sikerült megállapítani, kikeressük a táblázatból a 3-4. osztály közötti osztályozási határt, és megállapítjuk, hogy 3. vagy 4. osztályú-e.
6. A keresztmetszet osztályát a legmagasabb jelzőszámú lemezelem osztálya határozza meg: tehát ha az 5. lépésben találtunk 4. osztályú lemezelemet, akkor a keresztmetszet 4. osztályú, ellenkező esetben 3. osztályú.

Mint a későbbiekben látni fogjuk, a 4. osztályú keresztmetszetek ellenállásának meghatározása során a lemezhorpadás teherbírás-csökkentő hatását úgy vesszük figyelembe, hogy az osztályozás során 4. osztályúnak bizonyult lemezelemeket csökkentett szélességgel vesszük számításba a rugalmas keresztmetszeti jellemzők meghatározása során. Ennek hatására a keresztmetszetben általános esetben változik a feszültségek eloszlása, és bizonyos körülmények között az is elképzelhető, hogy ennek folytán egy másik lemezelem osztályba sorolása is megváltozik. Ezért a szabvány azt javasolja, hogy – hacsak nem szimmetrikus keresztmetszet tiszta nyomásáról van szó – az osztályozást mindig az övlemez osztályának meghatározásával kezdjük: ha ez 4. osztályúra adódnék, akkor a gerinclemez vizsgálata során már a módosult feszültségeloszlást kell figyelembe venni. Nem kell ugyanakkor figyelembe venni a 4. osztályúnak adódott gerinclemez csökkentése miatt újból módosuló feszültségeloszlás hatását.



3.1. ábra: Keresztmetszetek osztályozása.

M_{pl} a keresztmetszet teljes megfolyásához tartozó, M_y pedig a szélső szál folyását okozó nyomaték. Az alakváltozást a keresztmetszet körüli rövid tartószakaszon mért elfordulással, tehát tulajdonképpen a tartó görbületével írjuk le. A görbe a felkeményedés miatt emelkedhet M_{pl} fölé; méretezéskor természetesen ezt a tartalékot nem vesszük figyelembe.

Feszültség-eloszlás			
1. osztály	$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$	ha $\alpha > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ ha $\alpha \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$
2. osztály	$\frac{c}{t} \leq 83\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 38\varepsilon$	ha $\alpha > 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ ha $\alpha \leq 0,5$: $\frac{c}{t} \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$
Feszültség-eloszlás			
3. osztály	$\frac{c}{t} \leq 124\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 42\varepsilon$	ha $\psi > -1$: $\frac{c}{t} \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ ha $\psi \leq -1$: $\frac{c}{t} \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{-\psi}$

3.1. táblázat: Osztályozási határok mindkét oldalukon megtámasztott lemezekre. Az ábrákon a nyomófeszültség pozitív.

f_y	ε	ε^2
235	1,00	1,00
275	0,92	0,85
355	0,81	0,66
420	0,75	0,56
460	0,71	0,51

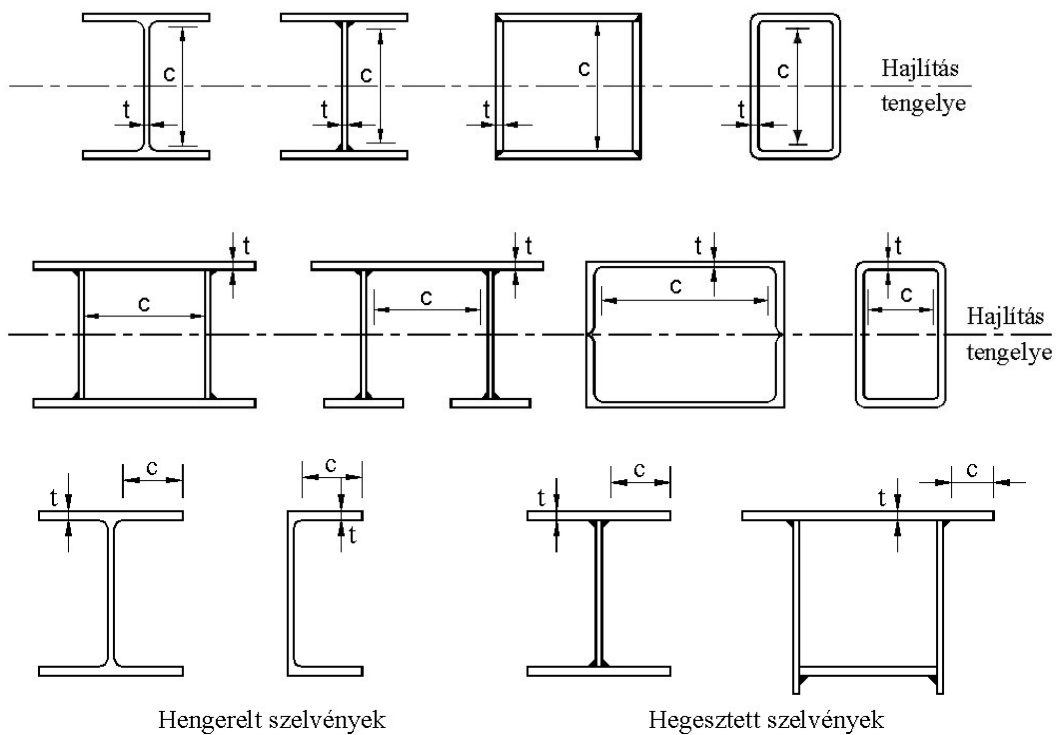
3.2. táblázat: ε és ε^2 értékei a folyáshatár függvényében.

Feszültség-eloszlás			
1. osztály	$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t} \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2. osztály	$\frac{c}{t} \leq 10\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$\frac{c}{t} \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Feszültség-eloszlás			
3. osztály	$\frac{c}{t} \leq 14\varepsilon$	$\frac{c}{t} \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$	

3.3. táblázat: Osztályozási határok egyik oldalukon megtámasztott lemezekre. A k_σ magyarázatát lsd. a 3.1.3. fejezetben. Az ábrákon a nyomófeszültség pozitív.

	szögacél	csőszelvény
1. osztály	1. <előző táblázat>	$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$
2. osztály	1. <előző táblázat>	$\frac{d}{t} \leq 70\varepsilon^2$
3. osztály	$\frac{h}{t} \leq 15\varepsilon$ és $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$	$\frac{d}{t} \leq 90\varepsilon^2$

3.4. táblázat: Osztályozási határok szögacélokra és csőszelvényekre. A szögacélra megadott osztályozási határ nem vonatkozik arra az esetre, amikor a szögacél folyamatosan felfekszik egy másik elemre. Az ábrákon a nyomófeszültség pozitív.



3.2. ábra: Jellemző szélességi és vastagsági méretek az osztályozási táblázatokhoz.

3.1.3. A 4. osztályú keresztmetszet

Ha egy keresztmetszet a vizsgált igénybevétel szempontjából 4. osztályúnak minősül, akkor a vizsgált igénybevétellel szembeni ellenállását úgy kell kiszámítani, mintha a keresztmetszet 3. osztályú lenne, de a tényleges keresztmetszeti jellemzőket (terület, keresztmetszeti modulus stb.) egy csökkentett, ún. hatékony értékkel vesszük figyelembe. Ezek a hatékony keresztmetszeti jellemzők egy ún. hatékony keresztmetszeten számíthatók, amelyet úgy veszünk fel, hogy az eredeti keresztmetszet nyomott alkotólemezei közül mindazokat, amelyek az előző szakasz szerint 4. osztályúak, a horpadásnak megfelelően csökkentjük. A hatékony keresztmetszetre mutat példát a 3.3. ábra.

A horpadó (4. osztályú) lemezek b_{eff} szélességének meghatározásához első lépésben ki kell számítani a lemezelem $\bar{\lambda}_p$ viszonyított karcsúságát:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b} / t}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$$

ahol \bar{b} a vizsgált lemez jellemző szélességi mérete a 3.5. táblázat szerint, t a lemez vastagsága, k_σ pedig az ún. horpadási tényező. (Figyelem! Ha a lemez egy része húzott, például hajlított I tartó gerinclemezében, a $b_{eff} = \rho \cdot b$ képletben szereplő b csak a nyomott lemezrész szélességét jelenti, ugyanakkor \bar{b} és a 3.5. táblázatban szereplő jelölések a teljes lemezre vonatkoznak!)

A k_σ horpadási tényező a nyomott lemezek horpadása során figyelembe veendő, a $\bar{\lambda}_p$ karcsúság képletében nem szereplő körülményeket tartalmazza. Ezek a következők:

- a nyomott lemez megtámasztási viszonyai,
- a nyomott lemez hossza (illetőleg az l/b arány),
- a nyomófeszültségek eloszlása.

A 4. osztályú keresztmetszetek vizsgálata során mindig az $l/b = \infty$ esethez (végtelen hosszú lemezcsík) tartozó k_σ értékkel számolunk, hiszen a vizsgált lemezeink nagyon hosszúak (az $l/b < \infty$ esethez tartozó k_σ nagyobb, mint a végtelen hosszú lemezcsík k_σ -ja, az elhanyagolás tehát a biztonság javára történik).

Megtámasztás szempontjából a 4. osztályú keresztmetszetek alkotó lemezei két csoportra oszthatók: (a) belső nyomott lemezek (pl. I szelvény gerince, zárt szelvény valamennyi alkotó lemeze) és (b) szabad szélű nyomott lemezek (pl. I szelvény övlemeze). A nyomófeszültségek eloszlását lineárisnak tételezzük fel, és a szélső szálak feszültségének $\sigma_{min} / \sigma_{max,ny}$ hányadosát ψ -vel jelöljük (itt $\sigma_{max,ny}$ a lemezben – értelemszerűen a lemez valamely szélén – ébredő legnagyobb nyomófeszültség, σ_{min} pedig a lemez ellentétes szélén ébredő feszültség). Ekkor k_σ értéke a 3.6. táblázat szerint alakul.

A lemezkarcsúság ismeretében a b_{eff} hatékony szélességet az eredeti b szélességnek egy ρ tényezővel való csökkentésével határozzuk meg ($b_{eff} = \rho \cdot b$), ahol ρ -t a következőképpen számítjuk (Winter képlete nyomán):

- két oldalán megtámasztott („belső”) nyomott lemezelemekre:

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

- egyik oldalán megtámasztott („szabad szélű”) nyomott lemezelemekre:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2}, \quad \text{de} \quad \rho \leq 1,0$$

ahol ψ a lemezelem két szélén számított feszültség aránya. A b itt is csak a nyomott lemezrész szélességét jelöli, szemben a \bar{b} -sal, amely a jellemző szélességi méretet (tulajdonképpen a teljes szélességet) jelenti.

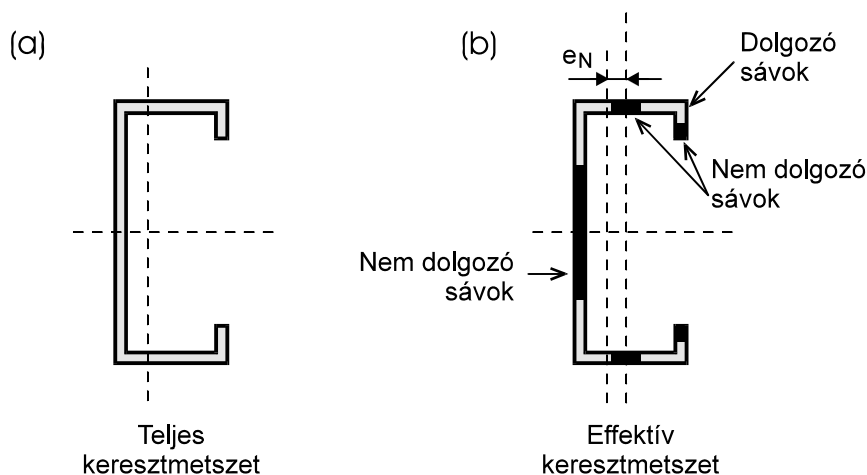
Ha meghatároztuk, mekkora darab lesz hatékony az eredeti alkotó lemezből, a következő feladat annak meghatározása, hogy a lemeznek mely részét kell elhagyni. (Erre egyedül kétszeresen szimmetrikus, központosan nyomott elemek esetében nincs szükség, hiszen ott a lemezhorpadás is szimmetrikusan következik be, és ezért az eredetileg központos nyomás a horpadás megindulása után is központos marad.)

Belső nyomott lemezek esetén, ha a feszültségeloszlás egyenletes, a horpadó lemezrész a vizsgált lemez közepén helyezkedik el; más esetekben a 3.4. ábra szerint hagyjuk el a kihorpadó lemezrészeket. A 3.4.a ábra szerinti esetben

$$b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} \cdot b_{eff} \quad \text{és} \quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$$

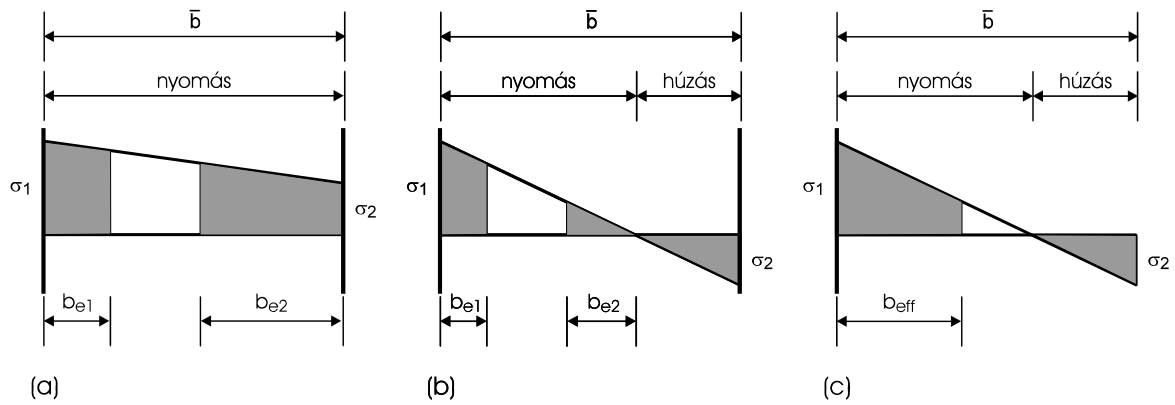
ahol $\psi = \sigma_2 / \sigma_1$. A 3.4.b ábra szerinti esetben pedig

$$b_{e1} = 0,4 \cdot b_{eff} \quad \text{és} \quad b_{e2} = 0,6 \cdot b_{eff}$$



3.3. ábra: 4. osztályú C szelvény teljes és hatékony keresztmetszete tiszta nyomás esetén. A keresztmetszet súlypontja e_N értékkel eltolódik, aminek hatására a keresztmetszetben az eredetileg központos normálerő hajlítónyomatékot is fog okozni.

Szabad szélű nyomott elemek esetén a nem hatékony rész mindig a nyomott lemez szélére esik; ha a lemez széle húzott, akkor a nyomott résznek a megtámasztástól távolabbi szélére (3.4.c ábra).



3.4. ábra: Honnan kell elhagyni a horpadó részeket 4. osztályú keresztmetszetek alkotó lemezeiben: (a) belső nyomott lemezben, amely végig nyomott; (b) belső nyomott lemezben, amely egyik szélén húzott; (c) bal oldalán megtámasztott, jobb oldalán szabad lemezben.

Eset	Jellemző \bar{b} szélességi méret
Gerinclemez	c
Belső övlemez általában	c
Hengerelt vagy hidegen hajlított zárt szelvényű idomacél belső övlemeze	$c - 3t$
Szabad szélű övlemez	c
Egyenlő szárú szögacél	h
Egyenlőtlen szárú szögacél	h

3.5. táblázat: A jellemző szélességi méret felvétele a lemezhorpadás vizsgálatához. A jelölések magyarázatát lsd. a 3.2. ábrán és a 3.4. táblázatban.

A hatékony keresztmetszetet a továbbiakban 3. osztályú keresztmetszetnek tekintjük, és eszerint számítjuk a teherbírását. Megjegyzendő, hogy az eredetileg szimmetrikus, hajlított, 4. osztályú szelvények hatékony keresztmetszete aszimmetrikussá válik, és a súlypontja eltolódik a húzott zóna irányába; a keresztmetszeti jellemzőket ennek megfelelően kell számítani. Nyomott-hajlított keresztmetszet esetén ez azt is jelenti, hogy az eredetileg központos nyomóerő külpontossá válik, tehát változik (mégpedig növekszik) a hajlítónyomaték értéke (ez a változás elvileg visszahat a hatékony szelvény meghatározására, de ezt a hatást már nem vesszük figyelembe).

Eset	ψ értéke	k_{σ} képlete
BELSŐ NYOMOTT ELEMÉK	$\psi = 1$	4,0
	$0 < \psi < 1$	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$
	$\psi = 0$	7,81
	$-1 < \psi < 0$	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$
	$\psi = -1$	23,9
	$-2 < \psi < -1$	$5,98 \cdot (1 - \psi)^2$
SZABAD SZÉLŰ NYOMOTT ELEMÉK, $\sigma_{max,ny}$ A SZABAD SZÉLEN VAN	$\psi = 1$	0,43
	$\psi = 0$	0,57
	$\psi = -1$	0,85
	$-1 < \psi < 1$	fenti értékek között lineáris interpoláció
	$-3 < \psi < -1$	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$ (*)
SZABAD SZÉLŰ NYOMOTT ELEMÉK, $\sigma_{max,ny}$ A MEGTÁMASZTOTT SZÉLEN VAN	$\psi = 1$	0,43
	$0 < \psi < 1$	$\frac{0,578}{\psi + 0,34}$
	$\psi = 0$	1,70
	$-1 < \psi < 0$	$1,70 - 5\psi + 17,1\psi^2$
	$\psi = -1$	23,8

3.6. táblázat: k_{σ} értékei $\psi = \sigma_{min} / \sigma_{max,ny}$ függvényében.

Az elméleti értékek a csuklós megtámasztáshoz tartoznak; a szabvány ezen értékek használatát javasolja, a biztonság javára való közelítésként. A ()-gal jelölt képlet alternatív számítási módot jelent a fentebb megadottakhoz képest.*

3.2. Keresztmetszetek ellenállása

3.2.1. Központosan húzott keresztmetszetek

A húzott keresztmetszetek ellenállását általános esetben a korlátolatlan folyás határállapota határozza meg. A korlátolatlan folyással szembeni ellenállást a következő képlet adja:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol A a teljes keresztmetszeti területet jelöli. Amennyiben a vizsgált keresztmetszetet csavarlyukak gyengítik, meg kell vizsgálni a képlékeny törés határállapotához tartozó

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

ellenállást is (itt A_{net} a gyengített keresztmetszet, azaz a teljes keresztmetszetnek a csavarlyukak okozta gyengítés területével csökkentett értéke), és a kettő közül a kisebbik fogja adni a keresztmetszet húzási ellenállását:

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd})$$

A feszített csavaros, úgynevezett C kategóriájú csavarozott kapcsolatokban (részletesen lsd. a 4.2.1. szakaszban) az alapanyag ellenállásának ellenőrzése során a következő ellenállásértékkel kell számolni:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Egyik szárukon kapcsolt szögacélok esetén (3.5. ábra) az $N_{u,Rd}$ ellenállás attól is függ, hogy az erőátadás irányában hány csavarsort helyezünk el. Egyetlen csavar alkalmazása esetén (ezt a kialakítást általában célszerű kerülni):

$$N_{u,Rd} = \frac{2 \cdot (e_2 - 0,5d_0) \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

ahol t a szögacél kapcsolt szárának vastagsága; két vagy több csavar esetén pedig

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

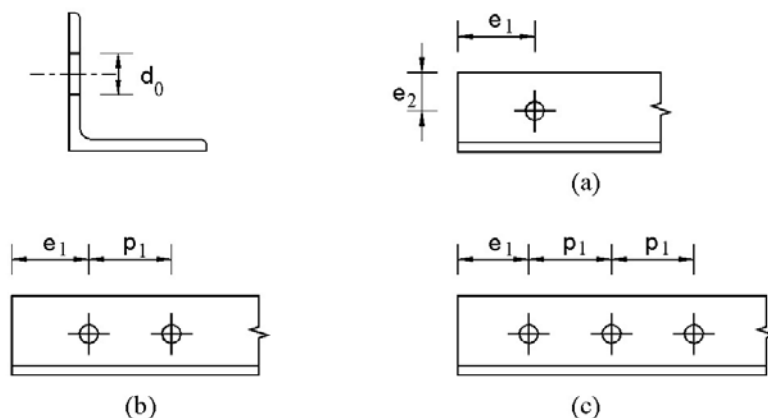
ahol két csavar esetén:

$$\beta = 0,1 + 0,12 \frac{p_1}{d_0} \quad \text{de} \quad 0,4 \leq \beta \leq 0,7$$

három vagy több csavar esetén pedig:

$$\beta = 0,3 + 0,08 \frac{p_1}{d_0} \quad \text{de} \quad 0,5 \leq \beta \leq 0,7$$

Abban az esetben, ha egy egyenlőtlen szárú szögacélt a rövidebbik szárán kapcsolunk, A_{net} nem vehető nagyobbra, mint a kisebbik oldal hosszúságával megegyező szárméretű, képzelt egyenlő szárú szögacél gyengített keresztmetszeti területe. Az előző képletekben d_0 a csavarlyuk átmérője (részletesebben lsd. a 4. fejezetben), e_2 a csavar tengelyének a szögacél szélétől mért távolsága (az erőátadás irányára merőlegesen), p_1 pedig a furatok osztástávolsága.



3.5. ábra: Egyik szárán kapcsolt szögacél egy sornyi csavarral (a), két sornyi csavarral (b) és három sornyi csavarral (c).

Abban az esetben, ha a csavarlyukak eltolt kiosztásúak (3.6. ábra), az előző képletekben szereplő A_{net} gyengített keresztmetszeti területet az ún. *Cochrane*-képlet segítségével javasolja meghatározni, amely a következőképpen használható. A 3.6. ábrán jelzeteknek megfelelően egyenes (II. típusú), illetve egyenes és ferde szakaszokból álló (III. típusú) szakadási vonalakat kell tekinteni. Az A_{net} a következő képletből számítható:

$$A_{net} = A - \Delta A$$

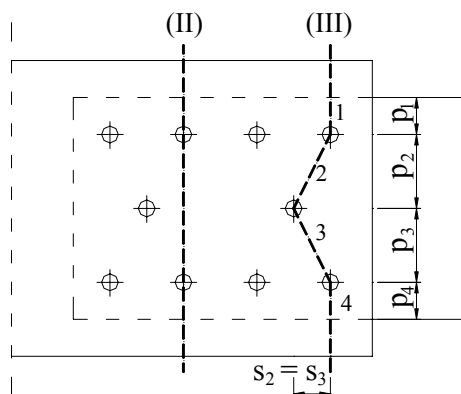
ahol A a teljes keresztmetszeti terület, ΔA pedig:

$$\Delta A = \max(\Delta A_{II} - \Delta A_{III})$$

Ez utóbbi képletben ΔA_{II} a II. típusú szakadási vonalakra vonatkozó $n \cdot d_0 \cdot t$ értékek maximuma (tehát tulajdonképpen a hagyományos módon számított gyengítés – a csavarszám, a furatátmérő és a lemezvastagság szorzata), míg ΔA_{III} a III. típusú szakadási vonalakra számított

$n \cdot d_0 \cdot t - \sum_{i=1}^k \frac{s_i^2 t}{4 p_i}$ értékek közül a legnagyobb, ahol k a szakadási vonalat alkotó egyenes szakaszok száma, s_i és p_i pedig rendre az ilyen szakaszok hosszának az erőátadás irányában, illetve arra merőlegesen mért vetületével egyezik meg (t itt is a lemezvastagság).

Megjegyezzük, hogy a III. típusú szakadási vonalakra felírt képlet azt veszi figyelembe, hogy egyrészt a ferde metszet hosszabb a merőleges metszeteknél, másrészt pedig a ferde metszet feszültségállapota nem tiszta húzás, hanem húzás és nyírás kombinációja.



3.6. ábra: A gyengített keresztmetszeti terület meghatározása eltolt kiosztású furatok esetén.

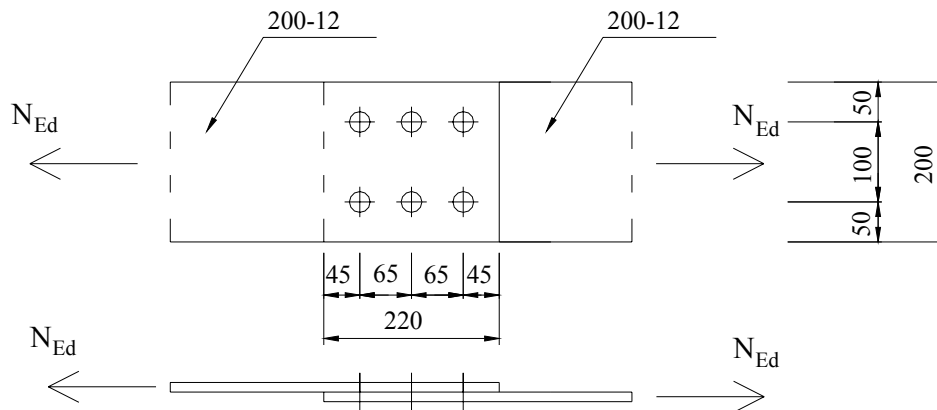
3.1. Példa

Ellenőrizze a 3.7. ábrán látható 200-12 méretű, központosan húzott rudat $N_{Ed} = 450\text{kN}$ erőre! A lemezeket egyszer nyírt csavarozott kapcsolattal illesztjük (3.7. ábra).

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5\text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0\text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 8.8 $\rightarrow d_0 = 26\text{ mm}$

A csavarkiosztás:



3.7. ábra: A húzott rúd illesztése.

Központosan húzott keresztmetszet tervezési húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

Ahol:

- $N_{pl,Rd}$: a teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása.
- $N_{u,Rd}$: a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 1,2 \cdot 23,5}{1,0} = 564,0\text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(20 - 2 \cdot 2,6) \cdot 1,2 \cdot 36}{1,25} = 460,3\text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 460,3\text{ kN} \geq N_{Ed} = 450\text{ kN} \rightarrow \text{A rúd húzásra megfelel.}$$

Az egyszer nyírt csavarozott kapcsolat ellenőrzését lsd. 4.2.2 Húzott/nyomott elemek csavarozott kapcsolatai **4.1. Példa**.

3.2. Példa

Határozzuk meg az egyik szárán kapcsolt L70.70.7 szögacél $N_{t,Rd}$ tervezési húzási ellenállását!
A kapcsolat kialakítását a 3.8. ábra mutatja.

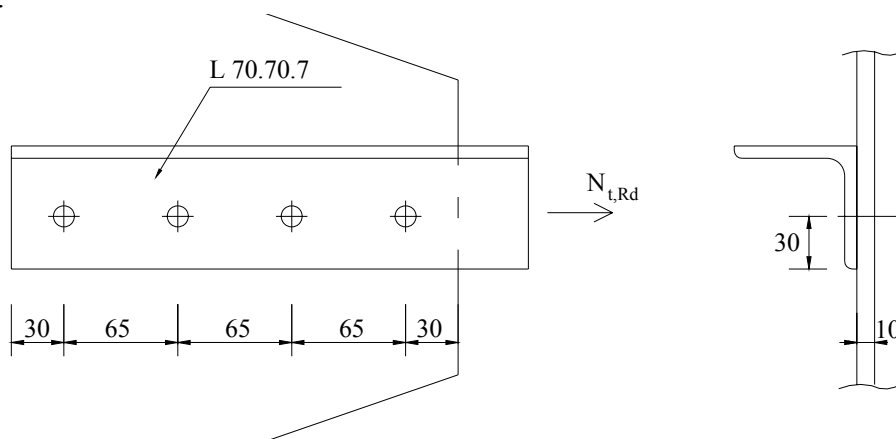
A rúd szelvénye: L70.70.7 $A = 9,4 \text{ cm}^2$

Alapanyag: S275 $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M16, 8.8 $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$

A csavarkiosztás:

A szögacél bekötése esetén, a csavarok elhelyezésének szabályai a [1] táblázatok 79. oldalán találhatóak.



3.8. ábra: A húzott rúd bekötése.

$$e_1 = 30 \text{ mm} \quad e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$p_1 = 65 \text{ mm}$$

Egyik szárán kapcsolt szögacél tervezési húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

Ahol:

- $N_{pl,Rd}$: a teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4 \cdot 27,5}{1,0} = 258,5 \text{ kN}$$

- $N_{u,Rd}$: a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása
három vagy több csavar esetén:

$$\beta = 0,3 + 0,08 \frac{p_1}{d_0} \quad \text{de} \quad 0,5 \leq \beta \leq 0,7$$

$$\beta = 0,3 + 0,08 \frac{65}{18} = 0,59$$

$$N_{u,Rd} = 0,59 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,59 \cdot \frac{(9,4 - 1,8 \cdot 0,7) \cdot 43}{1,25} = 165,2 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 165,2 \text{ kN}$$

A csavarozott kapcsolat számítása a 4.2.2 Húzott/nyomott elemek csavarozott kapcsolatai című fejezetben található példák alapján történhet.

3.2.2. Központosan nyomott keresztmetszetek

A keresztmetszet nyomási ellenállását 1. keresztmetszeti osztály esetén az

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

4. keresztmetszeti osztály esetén pedig az

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

képlettel számítjuk. Mint látható, a nyomott keresztmetszet ellenállásában nem vesszük figyelembe az esetleges csavarlyukak okozta gyengítés hatását.

Ha a keresztmetszet 4. osztályú, és a hatékony keresztmetszet súlypontja nem esik egybe a tényleges keresztmetszet súlypontjával, akkor ebből a külpontosságból hajlítónyomaték származik. Ekkor a keresztmetszetet nyomott-hajlított keresztmetszetként kell vizsgálni.

A nyomott keresztmetszetek általában nyomott rudakban helyezkednek el; a nyomott rudak ellenállása szempontjából pedig általában nem a keresztmetszet ellenállása, hanem a rúd kihajlási ellenállása a mértékadó.

3.3 Példa

Határozzuk meg az alábbi hegesztett I szelvény $N_{c,Rd}$ tervezési nyomási ellenállását!

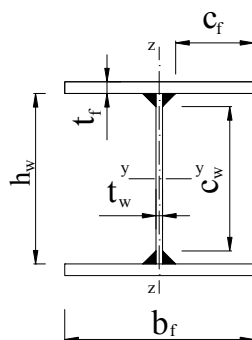
Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 1,0$ (lsd. 3.2. táblázat)

A szelvény geometriája: (3.9. ábra)

öv: 300-16

gerinc: 300-8

nyakvarrat: $a = 4 \text{ mm}$ kétoldali sarokvarrat



$$b_f = 300 \text{ mm}$$

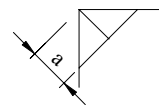
$$t_f = 16 \text{ mm}$$

$$h_w = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm} \text{ - sarokvarrat mérete}$$

$$A = 120 \text{ cm}^2$$



3.9. ábra: Szelvény geometria.

A nyomott keresztmetszet tervezési nyomási ellenállását a következő összefüggéssel számítjuk: 1., 2. és 3. keresztmetszeti osztályok esetén:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

4. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8}{2} = 140,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{140,3}{16} = 8,77 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú (lsd. 3.3. táblázat).

Gerinc: (c_w a gerinc varratok közötti magassága)

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 300 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 288,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{288,7}{8} = 36,09 < 38 \cdot \varepsilon = 38$$

tehát a gerinc 2. keresztmetszeti osztályú (lsd. 3.1. táblázat).

Tehát a keresztmetszet 2. keresztmetszeti osztályba sorolandó nyomásra. De tiszta nyomás esetén nincs értelme 2. osztályról beszélni lsd. 3.1.2 pontban írottak.

A keresztmetszet tervezési nyomási ellenállása:

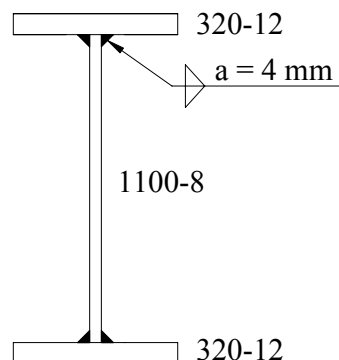
Az 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó keresztmetszet tervezési nyomási ellenállás:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{120 \cdot 23,5}{1,0} = 2820,0 \text{ kN}$$

3.4 Példa

Határozzuk meg a 3.10. ábrán látható szelvény keresztmetszeti tervezési ellenállását tiszta nyomásra!

Alapanyag: S355 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 0,81$ (lsd. 3.2. táblázat)



3.10. ábra: Szelvény geometria.

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{320}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8}{2} = 150,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{150,3}{12} = 12,53 > 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,4$$

tehát az öv 4.keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 1100 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 1088,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{1088,7}{8} = 136,1 > 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0,81 = 34,2$$

tehát a gerinc is 4. keresztmetszeti osztályú.

A keresztmetszet tehát 4. keresztmetszeti osztályú, és mind az övben, mind a gerincben effektív szélességet kell számítani.

Az övlemezek vizsgálata:

Szabad szélű elem, egyenletes feszültségeloszlással $\psi = 1,0 \rightarrow k_\sigma = 0,43$ (lsd. 3.6. táblázat).

Övlemez karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{c_f/t_f}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{12,53}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{0,43}} = 0,827$$

Effektív szélesség számítása szabad szélű elem esetén:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,827 - 0,188}{0,827^2} = 0,934$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = \rho \cdot c_f = 0,934 \cdot 150,3 = 140,5 \text{ mm}$$

Övek hatékony szélessége:

$$c_{f,eff} = 2 \cdot b_{eff} + t_w + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 140,48 + 8 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 300,3 \text{ mm}$$

A gerinclemez vizsgálata:

Belső elem, egyenletes feszültségeloszlással $\psi = 1,0 \rightarrow k_\sigma = 4$ (lsd. 3.6. táblázat).

Gerinclemez karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{c_w/t_w}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{136,1}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{4}} = 2,945$$

Effektív szélesség számítása belső elem esetén:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{2,945 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{2,945^2} = 0,314$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = \rho \cdot c_w = 0,314 \cdot 1088,7 = 342,1 \text{ mm}$$

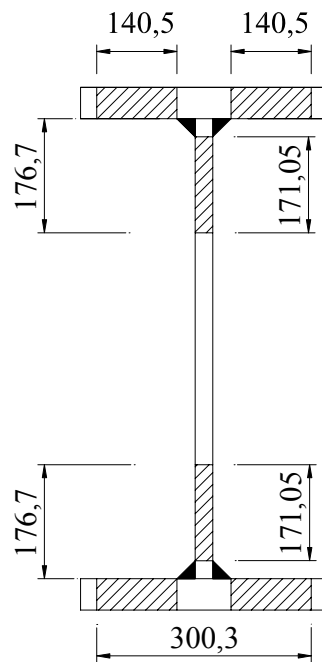
Gerinc hatékony szélességei alul és felül:

$$c_{w,eff} = \frac{b_{eff}}{2} + a \cdot \sqrt{2} = \frac{342,1}{2} + 4 \cdot \sqrt{2} = 176,7 \text{ mm}$$

A hatékony keresztmetszet nyomási ellenállása:

$$A_{eff} = 2 \cdot c_{f,eff} \cdot t_f + 2 \cdot c_{w,eff} \cdot t_w = 2 \cdot 30,03 \cdot 1,2 + 2 \cdot 17,67 \cdot 0,8 = 100,34 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{100,34 \cdot 35,5}{1,0} = 3562 \text{ kN}$$



3.11. ábra: Hatékony keresztmetszet.

3.2.3. Nyírt keresztmetszetek

A keresztmetszet nyírási ellenállását a következő képlet adja:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

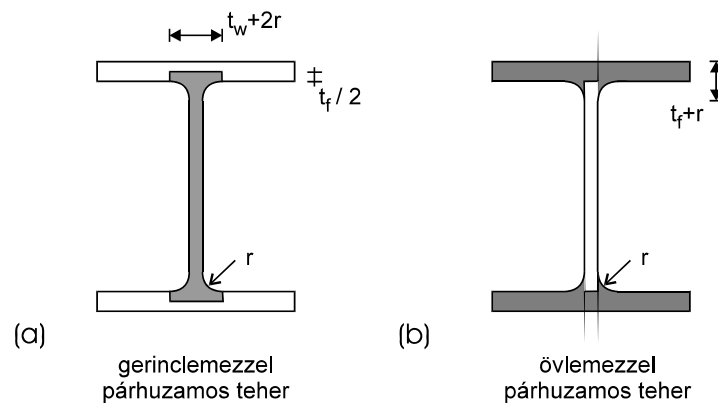
ahol A_v az ún. nyírt keresztmetszeti terület.

A gerenda síkjában terhelt, hengerelt I szelvény esetén az A_v felvehető a gerinclemez területére, vagy pontosabban a 3.12. ábra a) részén jelzett területre.

A gerenda síkjára merőlegesen terhelt I szelvény esetén A_v a 3.12. ábra b) részén jelzett területtel egyezik meg. Ha azonban a nyíróerő olyan vízszintes teherből származik, amely közvetlenül terheli valamelyik (pl. a felső) övlemezt, akkor csak a felső övlemeznek a jobb oldali ábrán jelölt területe dolgozik (ilyen esettel van dolgunk például a darupályatartó felső övére a daruról átadódó vízszintes teher, az ún. oldallökő erő esetén).

Hegesztett keresztmetszetek esetén a nyírt keresztmetszeti területet a gerinclemez, illetve az övlemez(ek) területére kell felvenni, a hengerelt eset logikájának megfelelően.

Megjegyezzük, hogy ez az összefüggés a korlátolatlan folyás határállapota szerinti tönkremenetelt feltételez; a nyírófeszültségek hatására bekövetkező lemezhorpadás (az ún. nyírási horpadás) vizsgálatával a 3.3.4. szakaszban foglalkozunk.



3.12. ábra: A nyírt keresztmetszeti terület gerinclemezével párhuzamosan terhelt és övlemezével párhuzamosan terhelt hengerelt I szelvényre.

3.2.4. Hajlított keresztmetszetek

A továbbiakban feltételezzük, hogy a hajlítás síkja egybeesik a keresztmetszet valamely szimmetriasíkjával, tehát egyenes („egytengetű”) hajlításról van szó.

Ha a vizsgált keresztmetszetet nem gyengítik csavarlyukak, akkor a hajlítási ellenállás 1. és 2. keresztmetszeti osztály esetén:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

3. keresztmetszeti osztály esetén:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

4. keresztmetszeti osztály esetén pedig

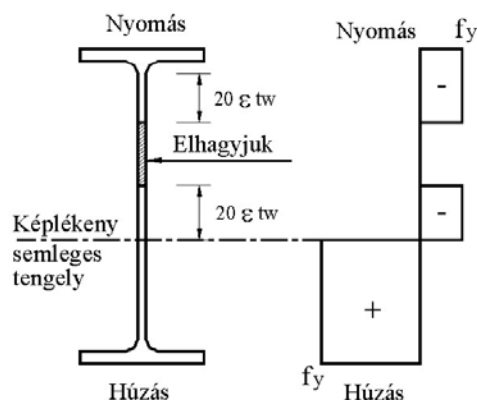
$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol W_{el} a keresztmetszet rugalmas, W_{pl} pedig a képlékeny keresztmetszeti modulusa (a rugalmas keresztmetszeti modulus az inercia és a szélsőszál-távolság hányadosaként, a képlékeny keresztmetszeti modulus pedig a fél keresztmetszetnek a súlyponti tengelyre vett statikai nyomatéka kétszereseként számítható).

Ha a keresztmetszet húzott zónáját csavarlyukak gyengítik, akkor e gyengítés hatása figyelmen kívül hagyható, ha teljesül a következő feltétel:

$$0,9 \cdot \frac{A_{net}}{A} \geq \frac{f_y}{f_u} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$$

azaz a húzott zónát mint húzott keresztmetszetet vizsgálva a húzási ellenállás szempontjából a korlátozatlan folyás határállapota a mértékadó a képlékeny töréssel szemben. Ha ez a feltétel nem teljesül, a húzott zóna A területét (célszerűen az övlemez szélességének csökkentésével) képzeletben úgy csökkentjük, hogy a feltétel teljesüljön. A nyomott zónában lévő csavarlyukak nem befolyásolják a hajlítási ellenállás nagyságát (feltéve, hogy a furatokban csavar helyezkedik el, és nem túlméretes vagy hasíték lyukakról van szó).



3.13. ábra: A helyettesítő 2. osztályú keresztmetszet felvétele az 1. vagy 2. osztályú övlemezzel és 3. osztályú gerinclemezzel rendelkező szelvény vizsgálatához.

Lehetőség van arra, hogy az 1. vagy 2. osztályú övvel és 3. osztályú gerinccel rendelkező keresztmetszetet hajlításra 2. osztályúként vizsgáljuk (szemben a 3.1.2. szakaszban megtanult elvekkkel, amelyek szerint a keresztmetszet 3. osztályúnak minősülnek). Ekkor azonban a

gerinclemez nem szabad teljes egészében figyelembe venni, hanem csak oly módon, hogy a gerinclemez nyomott szakaszában alul-felül egy-egy $20 \cdot \varepsilon \cdot t_w$ szélességű csonkot képzelünk (3.13. ábra), és a gerinc nyomott szakaszának maradék részét elhagyjuk (a húzott rész természetesen változatlanul, teljes hatékonysággal működik). Az eljárás tehát bizonyos szempontból hasonlít a 4. osztályú keresztmetszetek hatékony szélességének számításához (ld. 3.1.3. szakasz).

3.5 Példa

Határozzuk meg a 3.4 példában már szerepelt, a 3.10. ábrán látható, hegesztett szelvény keresztmetszeti ellenállását tiszta hajlításra!

Alapanyag: S355 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 0,81$ (ld. 3.2. táblázat)

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

Lsd. 3.4 példa: 4. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

Mivel az öv 4. osztályú, a gerincet csak a hatékony nyomott öv méreteinek ismeretében sorolhatjuk be.

A nyomott övlemez vizsgálata:

A számítás menete megegyezik a tiszta nyomás esetével (ld. 3.4 példa).

Eszerint a nyomott öv hatékony szélessége:

$$c_{f,eff} = 2 \cdot b_{eff} + t_w + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 140,48 + 8 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 300,3 \text{ mm}$$

A gerinclemez vizsgálata:

A gerinclemez vizsgálatát a számított hatékony felső öv és teljes méretben hatékony gerinc feltételezésével kezdjük.

A besoroláshoz szükség van a gerinc megtámasztott alsó (σ_2) és felső élénél (σ_1) fellépő feszültségek arányára (3.14. ábra).

A keresztmetszeti terület:

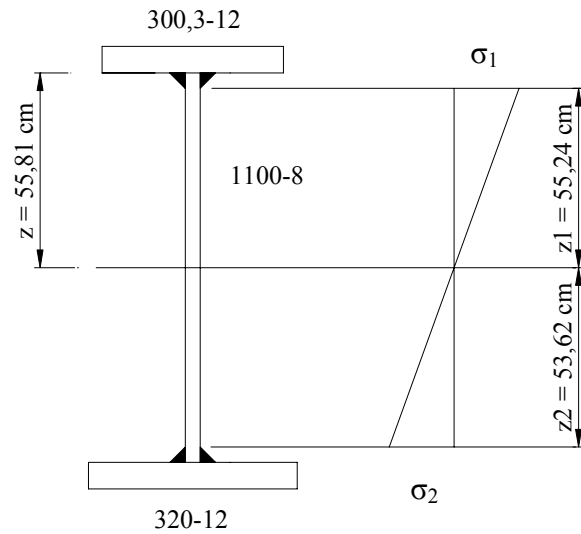
$$A = (30,03 + 32) \cdot 1,2 + 110 \cdot 0,8 = 162,43 \text{ cm}^2$$

A súlypont távolsága a felső öv belső élétől:

$$z = \frac{32 \cdot 1,2 \cdot (110 + 1,2/2) + 110 \cdot 0,8 \cdot 55 - 30 \cdot 1,2 \cdot 0,6}{162,43} = 55,81 \text{ cm}$$

A feszültségek aránya az ábra szerint:

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{z_2}{z_1} = \frac{53,62}{55,24} = -0,971$$



3.14. ábra: Feszültségeloszlás.

$$c_w = 1100 - 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 1088,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{1088,7}{8} = 136,1 > \frac{42 \cdot \varepsilon}{0,67 + 0,33 \cdot \psi} = \frac{42 \cdot 0,81}{0,67 - 0,33 \cdot 0,971} = 97,72$$

tehát a gerinc is 4. keresztmetszeti osztályú.

Belső elem, változó feszültségeloszlással: (3.6. táblázat szerint)

$$-1 < \psi < 0 \rightarrow k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 = 7,81 + 6,29 \cdot 0,971 + 0,971^2 = 23,13$$

Gerinclemez karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{c_w/t_w}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{136,1}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{23,13}} = 1,225$$

Effektív szélesség számítása belső elem esetén:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,225 - 0,055 \cdot (3 - 0,971)}{1,225^2} = 0,742$$

Hajlított keresztmetszetnél csak a gerinc nyomott szakaszán kell effektív szélességet számítani:

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = \rho \cdot z_1 = 0,742 \cdot 552,4 = 410 \text{ mm}$$

A felső öv melletti hatékony gerincrészt:

$$z_f = 0,4 \cdot b_{eff} + a \cdot \sqrt{2} = 0,4 \cdot 410 + 4 \cdot \sqrt{2} = 169,7 \text{ mm}$$

A gerinc hatékony alsó szakaszának hossza:

$$za = z_2 + 0,6 \cdot b_{eff} + a \cdot \sqrt{2} = 536,2 + 0,6 \cdot 410 + 4 \cdot \sqrt{2} = 787,9 \text{ mm}$$

Ellenőrzésképpen számítsuk ki a gerinc „kimaradó” szakaszának hosszát kétféleképpen:

$$zk = \bar{b} \cdot (1 - \rho) = 552,4 \cdot (1 - 0,742) = 142,4 \text{ mm}$$

$$zk = 1100 - zf - za = 1100 - 169,7 - 787,9 = 142,4 \text{ mm}$$

A hatékony keresztmetszet hajlítási ellenállása:

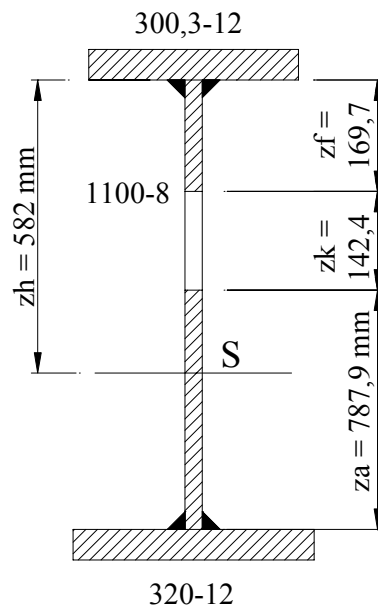
$$A_{eff} = (30,03 + 32) \cdot 1,2 + (16,97 + 78,79) \cdot 0,8 = 151,04 \text{ cm}^2$$

$$zh = \frac{-30,03 \cdot 1,2 \cdot 0,6 + 110 \cdot 0,8 \cdot 55 - 14,24 \cdot 0,8 \cdot (16,97 + 14,24/2) + 32 \cdot 1,2 \cdot 110,6}{151,04} = 58,2 \text{ cm}$$

$$I_{eff} = \frac{30,03 \cdot 1,2^3}{3} + \frac{0,8 \cdot 110^3}{3} - \frac{0,8 \cdot 14,24^3}{12} - 0,8 \cdot 14,24 \cdot (16,97 + 14,24/2)^2 + 32 \cdot 1,2 \cdot 110,6^2 - 151,04 \cdot 58,2^2 = 306210 \text{ cm}^4$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{306210}{(58,2 + 1,2)} = 5155 \text{ cm}^3$$

$$M_{C,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5155 \cdot 35,5}{1,0} = 183000 \text{ kNcm} = 1830 \text{ kNm}$$



3.15. ábra: Hatékony keresztmetszet.

3.2.5. Összetett igénybevétellel terhelt keresztmetszetek

Hajlítás és nyírás

A hajlítás és nyírás kölcsönhatását akkor kell figyelembe venni, ha a működő nyíróerő meghaladja a keresztmetszet nyírási ellenállásának (lsd. 3.2.3. fejezet) felét, azaz ha $V_{Ed} \geq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ (egyébként feltételezhető, hogy a felkeményedés ellensúlyozza a hatást – feltéve, hogy a nyírási horpadás miatt nem szükséges csökkenteni a nyomatéki ellenállást, lsd. a 3.3.4. szakaszban).

Ha a kölcsönhatást figyelembe kell venni, akkor kétszeresen szimmetrikus I és zárt szelvényekre, ha a szelvény 1. vagy 2. keresztmetszeti osztályba sorolandó, a nyíróerő hatására a nyomatéki teherbírás a következő értékre csökken:

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{de} \quad M_{V,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

ahol a jelölések a 2. fejezet szerintiék, $A_v = h_w \cdot t_w$, továbbá

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

Más keresztmetszetek és 3. keresztmetszeti osztály esetén a nyíróerő hatására lecsökkent nyomatéki ellenállást úgy kell kiszámítani, hogy a keresztmetszet nyírt területén egy $(1 - \rho) \cdot f_y$ csökkentett folyáshatárral számolunk.

Hajlítás és normálerő

A következőkben csak azzal az esettel foglalkozunk, ha a nyírás és a normálfeszültségeket okozó igénybevételek kölcsönhatását figyelmen kívül lehet hagyni. A hajlítás és a normálerő hatását a keresztmetszeti osztálynak megfelelően kell vizsgálni.

A szabvány nem rendelkezik arról, hogy a keresztmetszeti osztályt mely igénybevétel alapján kell meghatározni. A szabvány logikája azt diktálná, hogy a keresztmetszeti osztály megállapításához valamelyik igénybevételi komponenst (tehát vagy a hajlítónyomatékot, vagy a normálerőt) használjuk fel, ez azonban néha tévútra visz (például ha a figyelembe vett igénybevétel jóval kisebb a másiknál). A valósághoz való igazodás követelménye ugyanakkor az összetett eset (tehát a ténylegesen működő hajlítónyomaték és normálerő együttese) figyelembevételét támasztja alá; ez azonban néha nem kivitelezhető, különösen például akkor, amikor adott normálerőhöz keressük a nyomatéki teherbírást vagy fordítva. Ezért általános tanács nem is adható; az ENV változat magyar nemzeti alkalmazási dokumentuma is csak annyi utalást tartalmaz a problémára, hogy minden esetre engedi (de nem teszi kötelezővé) az összetett eset figyelembevételét.

1. és 2. keresztmetszeti osztály

Kétszeresen szimmetrikus I, H és más, övlemezekkel rendelkező szelvények esetén feltételezhető, hogy a normálerő nem csökkenti az **y irányú nyomatéki** ellenállást, amennyiben mindkét következő feltétel teljesül:

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot t_y}{\gamma_{M0}}$$

Hasonlóképpen, kétszeresen szimmetrikus I és H szelvények esetén feltételezhető, hogy a normálerő nem csökkenti a **z irányú nyomatóéki** ellenállást, amennyiben teljesül a következő feltétel:

$$N_{Ed} \leq \frac{h_w \cdot t_w \cdot t_y}{\gamma_{M0}}$$

Vezessük be a következő jelölést:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

Ekkor csavarlyukakkal nem gyengített hegesztett és hengerelt I és H szelvényekre az y és z irányú hajlítási ellenállás a következő értékre csökken:

$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} \quad \text{de} \quad M_{Ny,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{Nz,Rd} = \begin{cases} M_{pl,z,Rd} & \text{ha } n \leq a \\ M_{pl,z,Rd} \cdot \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] & \text{ha } n > a \end{cases}$$

ahol

$$a = \frac{A - 2b \cdot t_f}{A} \quad \text{de} \quad a \leq 0,5$$

Csavarlyukakkal nem gyengített zárt szelvényű idomacélok, valamint kétszeresen szimmetrikus keresztmetszetű hegesztett zárt szelvények keresztmetszeteire:

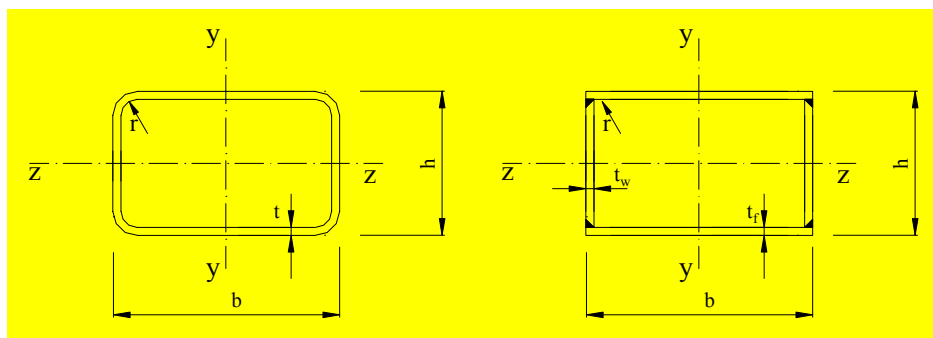
$$M_{Ny,Rd} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_w} \quad \text{de} \quad M_{Ny,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

$$M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a_f} \quad \text{de} \quad M_{Nz,Rd} \leq M_{pl,z,Rd}$$

ahol hegesztett zárt keresztmetszetre (jelöléseket *lsd.* 3.16. ábra)

$$a_w = \frac{A - 2b \cdot t_f}{A} \quad \text{de} \quad a_w \leq 0,5$$

$$a_f = \frac{A - 2h \cdot t_f}{A} \quad \text{de} \quad a_f \leq 0,5$$



3.16. ábra: Jelölések.

zárt idomacél-keresztmetszetekre pedig ugyanezek az összefüggések alkalmazhatók, de t_f és t_w helyére a szelvény egységes falvastagságát kell írni.

Amennyiben mind y , mind z irányban van hajlítás, az ellenőrzést I és H szelvényre a

$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{Ny,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{Nz,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

képlettel végezhetjük el, ahol $\beta = 5n$, de $\beta \geq 1,0$.

3. keresztmetszeti osztály

A 3. osztályú keresztmetszetek ellenőrzése során meg kell határozni a hajlítás és normálerő együttes hatásából származó legnagyobb normálfeszültséget, és ki kell mutatni, hogy

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

4. keresztmetszeti osztály

A 4. osztályú keresztmetszetek ellenőrzése során meg kell határozni a hajlítás és normálerő együttes hatásából a hatékony keresztmetszeten fellépő legnagyobb normálfeszültséget (a súlypont helyzetének módosulásából származó esetleges külpontosság-változás figyelembevételével), és ki kell mutatni, hogy

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

A feltétel másképpen a következő alakban írható:

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

ahol e_{Ny} és e_{Nz} a normálerő y és z irányú külpontossága a hatékony keresztmetszet súlypontjához képest.

Ez utóbbi képlet kétféleképpen értelmezhető.

Amennyiben az összefüggés a $\sigma_{x,Ed} \leq f_y / \gamma_{M0}$ feszültségre vonatkozó ellenőrzést jelenti, akkor A_{eff} és a két W_{eff} a normálerő és a két nyomaték együttesével terhelt keresztmetszet hatékony keresztmetszeti jellemzői, az e_N értékek pedig e hatékony keresztmetszet súlypontjának y és z irányú távolsága az eredeti súlyponttól.

A képlet felfogható három jelenség (nyomás, egyik és másik irányú hajlítás) interakciójaként is; ekkor az A_{eff} a tisztán nyomott keresztmetszet hatékony területe, $W_{eff,y}$ az y tengely körül tisztán hajlított keresztmetszet hatékony keresztmetszeti modulusa, $W_{eff,z}$ pedig a z tengely körül tisztán hajlított keresztmetszet hatékony keresztmetszeti modulusa. Ilyenkor az e_N külpontosságok a *tisztán nyomott* hatékony keresztmetszet és az eredeti keresztmetszet távolságának vetületeit jelentik (ez azt jelenti, hogy az eredetileg kétszeresen szimmetrikus keresztmetszet esetén terheléstől függetlenül ezek a külpontosságok zérussal egyenlőek).

Az Eurocode mindkét megfontolás alkalmazását lehetővé teszi. A két eset nyilván különböző eredményt szolgáltat; adott esetben a kettő közül azt lehet választani, amelyik **szimpatikusabb**, illetve amelyiktől számunkra kedvezőbb eredményt várunk.

Hajlítás, nyírás és normálerő

Amennyiben a nyíróerő meghaladja az (a) szakaszban megadott feltételt, a nyírás hatását is figyelembe kell venni, mégpedig oly módon, hogy a (b) szakasz képleteibe az (a) szakaszban leírtak szerint csökkentett nyomatéki ellenállást kell beírni.

Keresztirányú erők hatása

Közvetlenül terhelt gerinclemezekben (támasz fölött, darupályatartókon a kerékteher alatt, illetve általában mindenütt, ahol a gerinclemezt keresztirányú, azaz a gerinc síkjában működő erő terheli) a közvetlen terhelés hatására függőleges normálfeszültségek lépnek fel, aminek következtében a gerincben síkbeli feszültségállapot alakul ki. Ennek ellenőrzése a következő feltétel segítségével történhet:

$$\sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3\tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol $\sigma_{x,Ed}$ és $\sigma_{z,Ed}$ a legnagyobb x , illetve z irányú (hossz- és keresztirányú) normálfeszültség (a hosszirányú normálfeszültség a nyomatékból és a normálerőből, a keresztirányú normálfeszültség a közvetlen teherből származik), τ_{Ed} pedig a nyírófeszültség.

3.6 Példa

Ellenőrizzük a 3.3 példában már szerepelt hegesztett szelvényt $N_{Ed} = 700 \text{ kN}$ normálerőre, $M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}$ hajlítónyomatékra, majd együttes igénybevételekre!

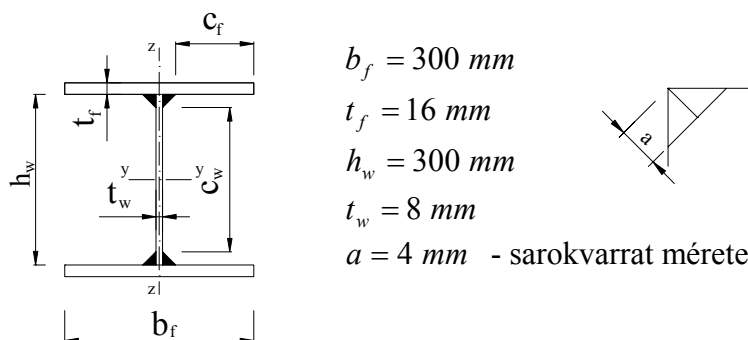
Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\epsilon = 1,0$ (lsd. 3.2. táblázat)

A szelvény geometriája: (3.17. ábra)

öv: 300-16

gerinc: 300-8

nyakvarrat: $a = 4 \text{ mm}$ kétoldali sarokvarrat



3.17. ábra: Szelvény geometria.

A számítás részleteinek mellőzése nélkül megadjuk a keresztmetszeti jellemzőket:

$$A = 120 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 25786 \text{ cm}^4; W_y = 1553 \text{ cm}^3; W_{pl,y} = 1697 \text{ cm}^3$$

A keresztmetszet osztályozása tiszta nyomásra:

Lsd. 3.3 példa: a keresztmetszet 1. osztályba sorolandó nyomásra.

A keresztmetszet osztályozása tiszta hajlításra:

Öv:

Az öv osztályozása megegyezik a 3.3 példában szereplővel: 1. km. osztályú

Gerinc:

Tiszta hajlítás esetén a 3.1. táblázat első oszlopát használhatjuk:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 300 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 288,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{288,7}{8} = 36,09 < 72 \cdot \varepsilon = 72$$

tehát a gerinc is 1. keresztmetszeti osztályú.

Így a szelvény mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

Ellenőrzés tiszta nyomásra:

A tervezési nyomási ellenállás a 3.3 példa alapján és a kihasználtság:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{120 \cdot 23,5}{1,0} = 2820,0 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = 0,25$$

A szelvény tiszta nyomásra megfelel.

Ellenőrzés tiszta hajlításra:

1. keresztmetszeti osztály esetén a nyomatéki ellenállás:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1697 \cdot 23,5}{1,0} = 398,8 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,45$$

A szelvény tiszta hajlításra megfelel.

Nyomaték és normálerő kölcsönhatása:

I- és H-szelvény esetén, y-y tengely körüli nyomaték esetén akkor kell a normálerő hatását figyelembe venni, ha a következő feltételek valamelyike teljesül:

$$N_{Ed} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} > \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Esetünkben:

$$0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2820 = 705 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN}$$

$$\frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 30 \cdot 8 \cdot 23,5}{1,0} = 282 \text{ kN} < N_{Ed} = 700 \text{ kN}$$

A második feltétel alapján szükséges a normálerő hatását számításba venni. Az interakciós formulához szükséges segédmenntényiségek:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{700}{2820} = 0,248$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b_f \cdot t_f}{A} = \frac{120 - 2 \cdot 30 \cdot 1,6}{120} = 0,2 < 0,5$$

A módosított nyomatéki ellenállás:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 398,8 \frac{1-0,248}{1-0,5 \cdot 0,2} = 333 \text{ kNm}$$

Ellenőrzés:

$$M_{N,Rd} = 333 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm} \quad \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = 0,54 \right)$$

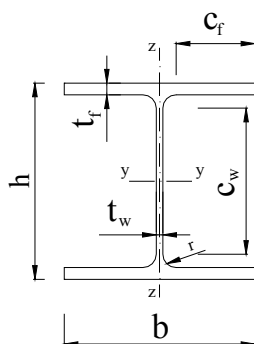
Tehát a szelvény nyomás és hajlítás interakciójára is megfelel.

3.7 Példa

Ellenőrizzük az alábbi hengerelt szelvényt $N_{Ed} = 500 \text{ kN}$ normálerőre, $M_{y,Ed} = 140 \text{ kNm}$ hajlítónyomatékra, $V_{Ed} = 300 \text{ kN}$ nyíróerőre, majd vizsgáljuk meg ezek kölcsönhatását az összetett igénybevételi állapotban!

Alapanyag: S275 $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 0,924$ (lsd. 3.2. táblázat)

Keresztmetszeti adatok: HEB 200 (táblázatból)



$$b = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 15 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$t_w = 9 \text{ mm}$$

$$r = 18 \text{ mm}$$

$$A = 78,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} = 24,83 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5696 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 569,6 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 643 \text{ cm}^3$$

3.18. ábra: Szelvény geometria.

A keresztmetszet osztályozása tiszta nyomásra:

Öv:

$$c_f = \frac{b}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{200}{2} - 18 - \frac{9}{2} = 77,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{77,5}{15} = 5,17 < 9 \cdot \varepsilon = 8,32$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 200 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 15 = 134 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{134}{9} = 14,89 < 33 \cdot \varepsilon = 30,5$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet nyomásra 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

A keresztmetszet osztályozása tiszta hajlításra:

Öv:

Az öv osztályozása megegyezik a tiszta nyomás esetével: 1. krm. osztályú

Gerinc:

Tiszta hajlítás esetén a 3.1. táblázat első oszlopát használhatjuk:

$$\frac{c_w}{t_w} = 14,89 < 72 \cdot \varepsilon = 66,56$$

tehát a gerinc is 1. keresztmetszeti osztályú.

Így a szelvény mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

Ellenőrzés tiszta nyomásra:

1. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78,1 \cdot 27,5}{1,0} = 2147 \text{ kN} > N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = 0,23$$

A szelvény tiszta nyomásra megfelel.

Ellenőrzés tiszta hajlításra:

1. keresztmetszeti osztály esetén a nyomatéki ellenállás:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{643 \cdot 27,5}{1,0} = 176,7 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 140 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,79$$

A szelvény tiszta hajlításra megfelel.

Nyírási ellenőrzés:

Elsőként meg kell vizsgálni a nyírási lemezhorpadás lehetőségét:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{170}{9} = 18,89 < \frac{72\varepsilon}{\eta} = \frac{72 \cdot 0,924}{1,2} = 55,5$$

tehát a nyírási horpadás nem mértékadó. Így a nyírási ellenállás:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{24,83 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 394,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 300 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,76$$

A szelvény nyírásra megfelel.

Nyomaték, normálerő és nyíróerő kölcsönhatása:

A nyíróerő és a nyomaték kölcsönhatását figyelembe kell venni, mert

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,76 > 0,5$$

A redukciós tényező értéke:

$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 300}{394,2} - 1 \right)^2 = 0,272$$

A módosított nyomaték:

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_{vz}^2}{4t_w} \right) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \left(643 - \frac{0,272 \cdot 24,83^2}{4 \cdot 0,9} \right) \frac{27,5}{1,0} = 163,87 \text{ kNm}$$

Megjegyezzük, hogy a fenti képletek csak kétszeresen szimmetrikus, 1. és 2. keresztmetszeti osztályú I-szelvény esetén érvényes (ld. 3.2.5 fejezet).

I- és H-szelvény esetén, y-y tengely körüli nyomaték esetén akkor kell a normálerő hatását figyelembe venni, ha a következő feltételek valamelyike teljesül:

$$N_{Ed} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} > \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Esetünkben:

$$0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2147 = 537 \text{ kN} > N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

$$\frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 17 \cdot 9 \cdot 27,5}{1,0} = 210,4 \text{ kN} < N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

A második feltétel alapján szükséges a normálereő hatását számításba venni. Az interakciós formulához szükséges segédmenyiségek:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{500}{2147} = 0,233$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{78,1 - 2 \cdot 20 \cdot 1,5}{78,1} = 0,232 < 0,5$$

A módosított nyomatékai ellenállás (hangsúlyozzuk, hogy itt már a nyírereő miatt redukált nyomatékai teherbírásból indulunk ki.):

$$M_{NV,Rd} = M_{V,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 163,87 \frac{1-0,233}{1-0,5 \cdot 0,232} = 142,2 \text{ kNm}$$

Ellenőrzés:

$$M_{NV,Rd} = 142,2 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 140 \text{ kNm} \quad \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{NV,Rd}} = 0,98 \right)$$

Tehát a szelvény az összetett igénybevételekre is megfelel.

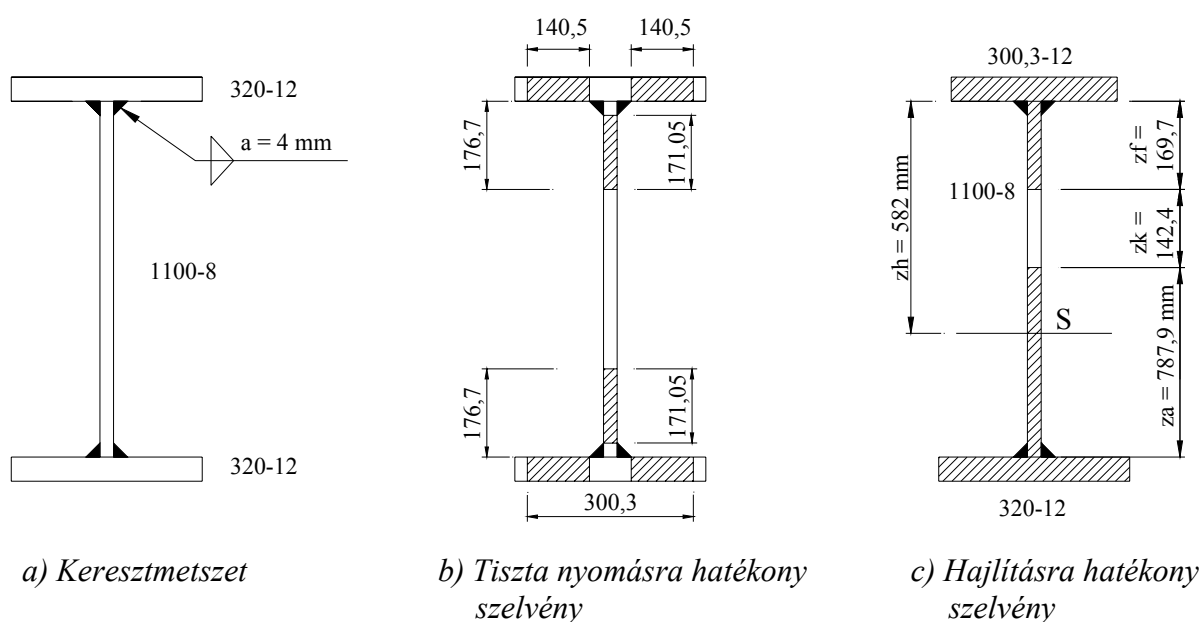
3.8 Példa

Ellenőrizzük a 3.4 és 3.5 példában szerepelt hegesztett szelvényt $N_{Ed} = 700 \text{ kN}$ normálereőre, $M_{Ed} = 1300 \text{ kNm}$ hajlítónyomatékra, majd együttes igénybevételekre!

Alapanyag: S355 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$

Ellenőrzés tiszta nyomásra:

A keresztmetszet ellenállásának számítását a 3.4 példában találjuk. A szelvény tiszta nyomásra 4. osztályú, a hatékony keresztmetszetet a 3.19.b) ábra mutatja.



3.19. ábra: Teljes és hatékony keresztmetszetek.

A keresztmetszet ellenőrzése:

$$N_{C,Rd} = 3562 \text{ kN} \quad (\text{lsd. 3.4 példa}); \quad \frac{N_{Ed}}{N_{C,Rd}} = \frac{700}{3562} = 0,2 < 1,0 \quad \text{tehát megfelel!}$$

Ellenőrzés tiszta hajlításra:

A keresztmetszet ellenállásának számítását a 3.5 példában találjuk. A szelvény tiszta hajlításra 4. osztályú, a hatékony keresztmetszet a 3.19.c) ábra szerinti. A keresztmetszet ellenőrzése:

$$M_{C,Rd} = 1830 \text{ kNm} \quad (\text{lsd. 3.5 példa}); \quad \frac{M_{Ed}}{M_{C,Rd}} = \frac{1300}{1830} = 0,71 < 1,0 \quad \text{tehát megfelel!}$$

Ellenőrzés egyidejű normálerőre és hajlításra:

A keresztmetszet tiszta nyomásra szimmetrikus maradt, tehát $e_z=0$. A keresztmetszet ellenőrzése:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_z}{W_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot 0}{M_{c,Rd}} = \frac{700}{3562} + \frac{1300}{1830} = 0,91 < 1,0$$

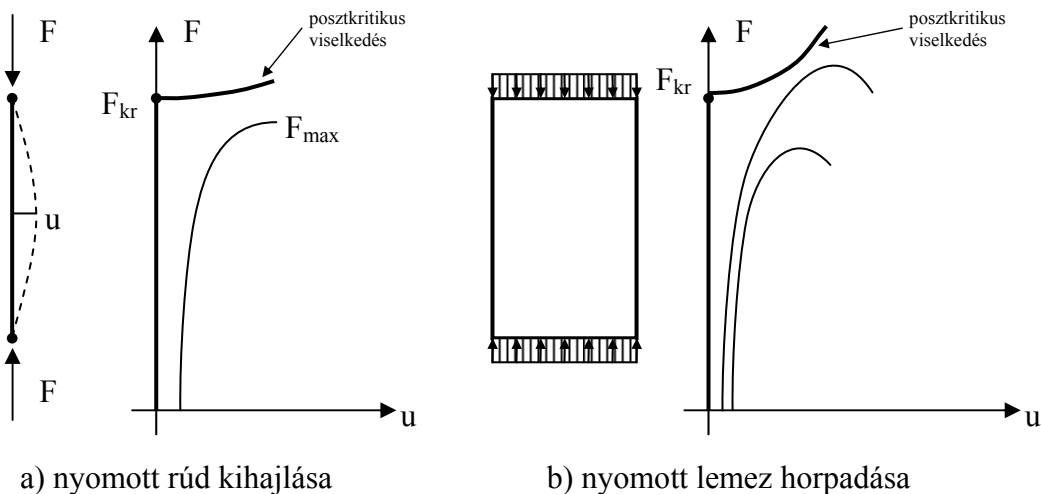
tehát megfelel!

A keresztmetszet mindhárom esetben megfelel.

3.3. Stabilitási ellenállás

3.3.1. Stabilitásvesztési módok

A rugalmasságtan tárgyából ismert, hogy egy központosan nyomott rúd tönkremenetele nem csak szilárdságilag következhet be (a keresztmetszet megfolyásával), hanem ún. stabilitásvesztéssel is: az ún. kritikus erőnél a rúd oldalirányban kihajlik, azaz az erő irányára merőleges értelmű deformált alakban veszi fel új egyensúlyi helyzetét (3.20/a ábra). Ezt egyensúly-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. Ezt illusztrálja a 3.20/a ábra vastag vonallal jelzett erő ~ elmozdulás ($F \sim u$) diagramja.



3.20. ábra: Egyensúly-elágazás.

Stabilitásvesztés nem csak rudaknál és nem csak nyomás esetén jöhet létre. A stabilitásvesztési módokat csoportosíthatjuk aszerint, hogy a teljes elemet érinti-e vagy annak csak egy alkotó elemét. Így egy szerkezeti elem esetében beszélhetünk:

- globális stabilitásvesztésről (ilyen a síkbeli rúdkihajlás, elcsavarodó kihajlás, rúdkifordulás), illetve
- lokális stabilitásvesztésről (ált. alkotó lemez horpadását értjük ez alatt, illetve összetett szelvények esetén az alkotó elemek stabilitásvesztését, rész-szelvény kihajlást).

Hangsúlyozzuk, hogy ez a felosztás nem egyezik meg a későbbi szaktárgyak során alkalmazott csoportosítással: szokás ugyanis egy teljes szerkezet (pl. épület keretszerkezete) globális stabilitásáról (keretstabilitás) és lokális stabilitásáról (egy-egy oszlop vagy gerenda szintek és csomópontok közötti stabilitásvesztéséről) beszélni. Jelen fejezetben egy-egy szerkezeti elemre vonatkozó megállapításokat teszünk csupán, és globális mód alatt egy-egy ilyen elem stabilitásvesztését értjük.

Az egyes stabilitásvesztési módok létrejötte alapvetően függ az elemre ható igénybevételtől is. Így a globális módok közül

- a kihajlás nyomott rudaknál,
 - a kifordulás hajlított tartóknál jön létre,
- míg a lemezhorpadásoknál megkülönböztetünk
- nyomott és/vagy hajlított lemezek horpadását (hosszirányú feszültségek),
 - keresztirányban nyomott lemezek beroppanását (közvetlenül terhelt gerinc),
 - nyírt lemezek horpadását.

A fenti osztályozást összegzi a 3.7. táblázat.

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

3.7. táblázat: Stabilitásvesztési módok osztályozása

Az egyes stabilitásvesztési módokhoz jellegzetes alakok tartoznak. A fenti táblázat és a 3.21~3.30. ábrák hathatós segítséget nyújtanak a módok elkülönítéséhez, felismeréséhez. A stabilitásvesztési jelenségeket az alábbiakban röviden tárgyaljuk.

Az 3.21. ábrán ábrázolt **síkbeli rúdkihajlás** az előzőek szerint tehát központosan nyomott rudak globális stabilitásvesztése. Vegyük észre, ekkor a teljes rúd oldalirányban meghajlik, a kihajló rúd új alakja síkgörbe, keresztmetszete nem torzul, nem csavarodik. A jelenség így természetesen nagymértékben függ az anyagminőség mellett a hajlítási merevségtől (arra a tengelyre vonatkoztatva, amely körül kihajlik a rúd), a keresztmetszeti területtől, de ahogy az ábrán is mutatott mintapéldából látható, döntő szerepe van a befogási viszonyoknak is. A mintapéldán a rúd két vége különbözőképpen van megtámasztva az egyes irányokban, így a kihajlási alak is más-más lesz a két irányban.

Vékonyfalú nyitott szelvények esetében a központosan nyomott rúd kihajlása nem síkbeli, hanem **térbeli elcsavarodó kihajlás**, amely során nem csak a rúdtengely görbül meg, de a keresztmetszet is elfordul (3.22. ábra). Emiatt a szelvény csavarási jellemzői (csavarási inercia, öblösödési modulus, csavarási középpont helyzete) és a csavarás szempontjából releváns befogási viszonyok is szerepet játszanak az elcsavarodó kihajlási ellenállás számításakor.

A **rúdkifordulás**, amely tehát szintén globális stabilitási jelenség, hajlított tartó esetén jön létre: a teljes rúd meghajlik és a keresztmetszet elcsavarodik. A kifordulásnak két változatát ismerjük: az **alaktartó kifordulás** (3.23. ábra), amely során a keresztmetszet elcsavarodik, de nem torzul, míg a **nem alaktartó kifordulás** (3.24. ábra) esetén a keresztmetszet jellegzetes módon torzul. Utóbbi esetben – amely magas gerincű tartókra jellemző – a húzott öv gyakorlatilag helyben marad, a tartó felső öve viszont elmozdul és csavarodik, a gerinc pedig deformálódik (ez a jelenség adja a fizikai alapját a későbbiekben ismertetésre kerülő ún. övmerevség-vizsgálatnak). Hasonlóan a rúdkihajláshoz, a kifordulás is gyakorlatilag az elem tönkremenetelét jelenti, poszt-kritikus állapotban alig képes számottevő többletterhet viselni.

Általában véve lemezes szerkezetek esetén az egyes alkotó lemezekben nyomás, illetve nyírás hatására létrejöhet **lemezhorpadás**. A lemezhorpadás fajtáit a 3.25. ábrán látható kéttámaszú, két koncentrált erővel terhelt gerinclemez tartón mutatjuk be. Az acélszerkezetek körében leggyakrabban előforduló ilyen tartókban (például hegesztett vagy hengerelt I-szelvényű tartók esetén) az övben, illetve a gerinclemezben a nyomásból vagy a hajlításból származó **rúdtengely**

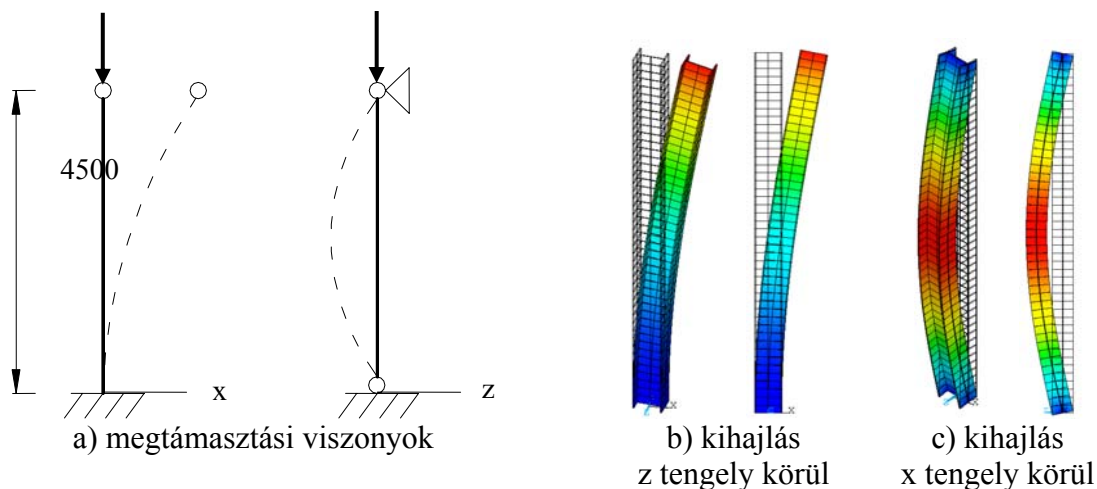
irányú feszültségek hatására a lemezekben a rúdtengellyel párhuzamos hullámok képében jelenik meg a lemezhorpadás. Mintapéldánkban a két koncentrált erő közötti gerinclemezmező tisztán hajlított, a legnagyobb nyomaték itt keletkezik. Ekkor a horpadási alak a 3.26. ábrának megfelelő. A felső öv tisztán nyomott, abban szintén keletkezhet lemezhorpadás. A kritikus feszültség mértéke és a horpadási alak jellege függ a lemez geometriai méreteitől, a lemezvastagságtól, a feszültségeloszlástól (nyomott/hajlított) és a megtámasztási viszonyoktól (hány oldalán van megtámasztva, kapcsolódó elemek, pl. övlemez merevsége, stb.). Ellentétben az előzőekben taglalt stabilitási jelenségekkel, lemezhorpadás esetén a poszt-kritikus tartalék jelentős lehet (3.20/b ábra).

A függőleges értelmű *nyírást* a gerinclemez veszi fel. A nyírás hatására jellegzetes, ferde hullámok jönnek létre a gerincben. Példánkban a szélső lemezmezőkben van csak nyíróerő, a nyírási horpadás így ott keletkezhet (3.27. ábra).

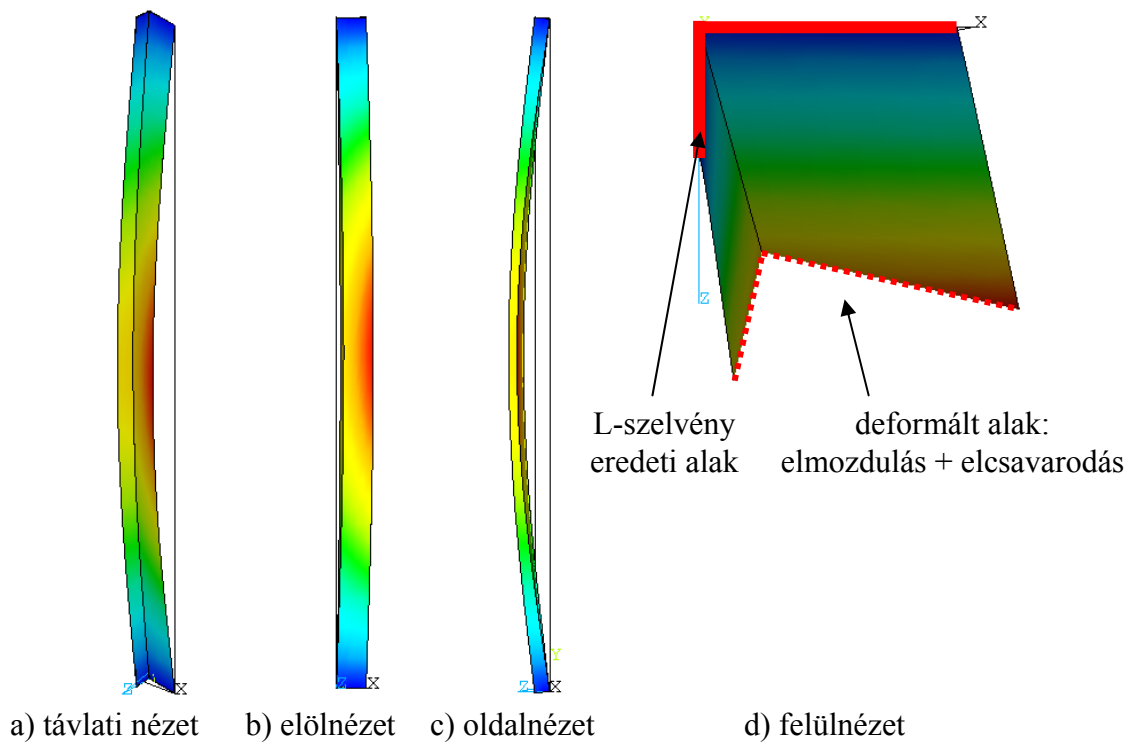
Természetesen előfordulhat olyan eset, amikor nem csak hosszirányú, de arra merőleges értelmű, ún. *keresztirányú feszültségek* is ébrednek egy-egy lemezben. Ennek egy speciális fajtája a nagy koncentrált (vagy kis hosszon kiterjedő) erők bevezetésének környezete. Ilyen ún. *közvetlenül terhelt lemez* jellemzően például a támaszok környezetében a gerinclemez, darupályatartóknál a darukerék alatti gerinclemezmező, stb. Ezen koncentrált erő alatt a gerinclemez **beroppanhat** (3.28. ábra), ha nincs függőleges értelemben merevítve.

A lemezhorpadás **merevített lemezek** esetében is létrejöhet, de ekkor kétféleképpen: a *teljes merevített lemezben* (3.29/b ábra) vagy – amennyiben a merevítőbordák elég merevek – a *bordák között* (3.29/c ábra). A 3.29. ábra többszörösen merevített lemez horpadási módjait mutatja be tiszta nyomás esetén. Megjegyezzük, hogy éppen azért szoktunk merevítőbordákat elhelyezni a vékony lemezekben – ahol a lemezstabilitás domináns –, mert általuk a lemez vastagítása nélkül érhetünk el nagyobb stabilitási ellenállást. A függőleges bordák tervezésekor mindig arra törekszünk, hogy a lemezhorpadás csak azok között jöhessen létre (lásd előző példa), míg vízszintes merevítéseknél (különösen többszörösen merevített esetben) gyakran megelégszünk nem-merev bordákkal.

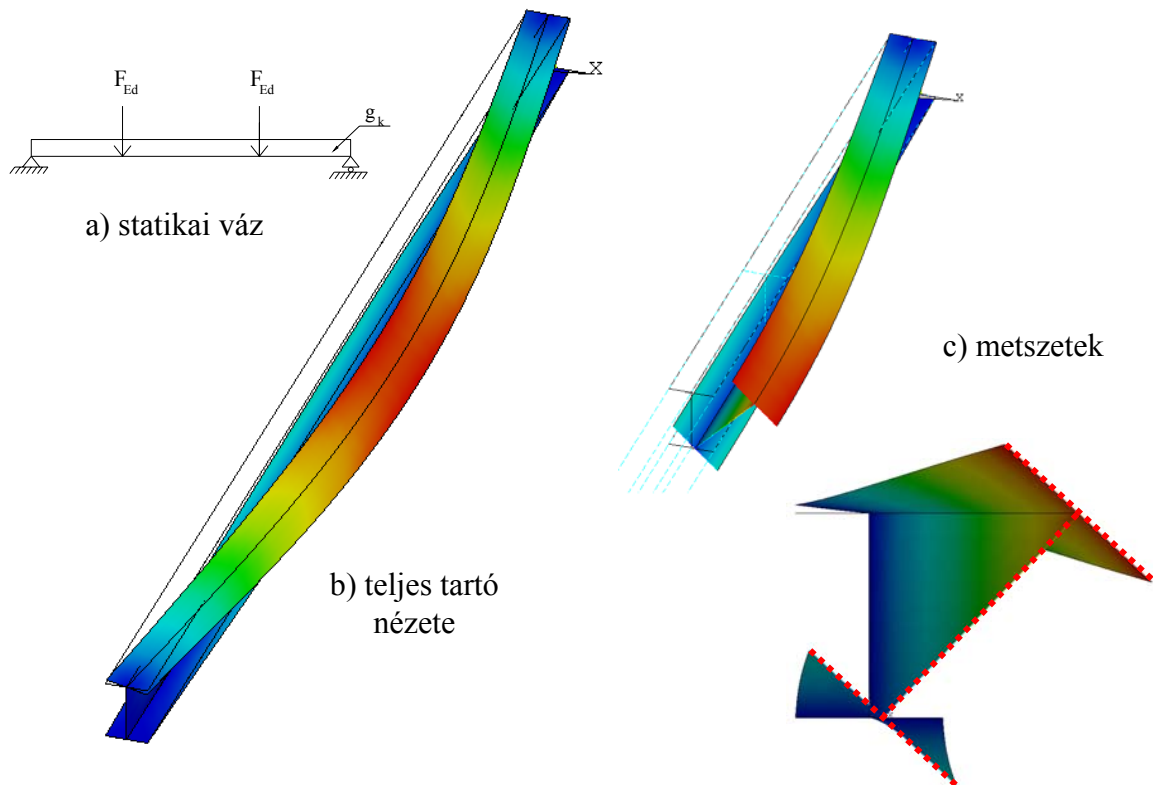
Az egyes stabilitásvesztési módok **kölcsönhatásba** (más szóval interakcióba) is léphetnek egymással. Így például egy gerinclemezes tartó lemezhorpadása interakcióba léphet a teljes rúd globális rúdkifordulásával (3.30/a-b ábra). De lokális módok is kombinálódhatnak, pl. hajlítónyírt gerinclemez különböző lemezhorpadásai (3.30/c ábra). Némely esetben a kölcsönhatásba lépő módok gyengíthetik egymás hatását (tehát kedvezőbb teherbírást is eredményezhet), vagy éppen semmilyen hatással nincsenek egymásra. Általában azonban erősítik egymást, ezért különösen fontos az interakciók vizsgálata, amely azonban igen bonyolult számítási eljárásokat követel meg.



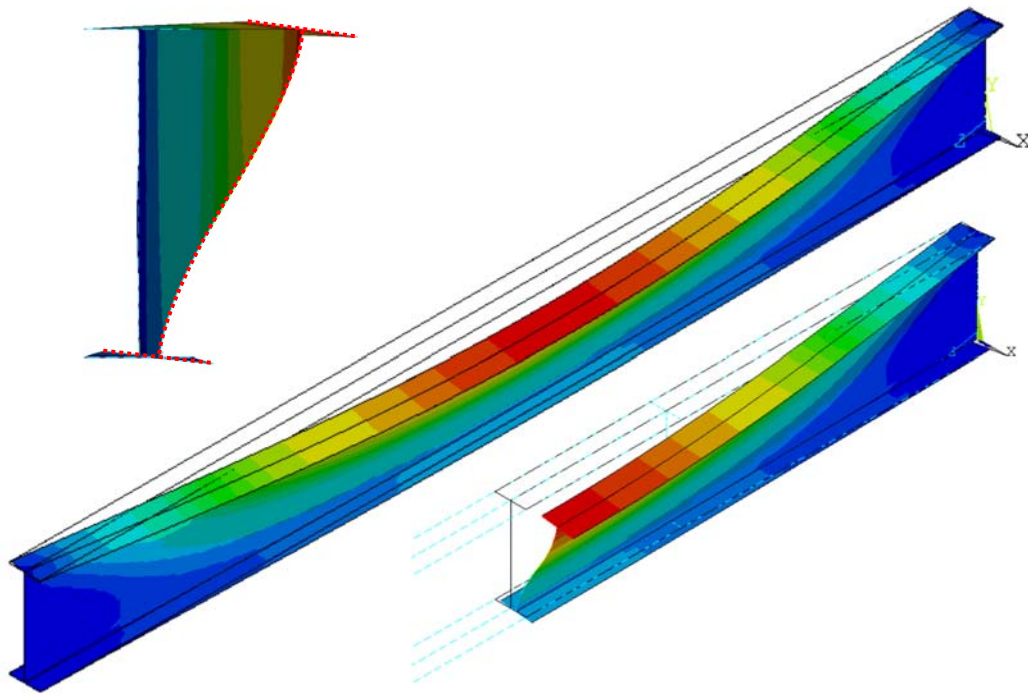
3.21. ábra: Síkbeli rúdkihajlás.



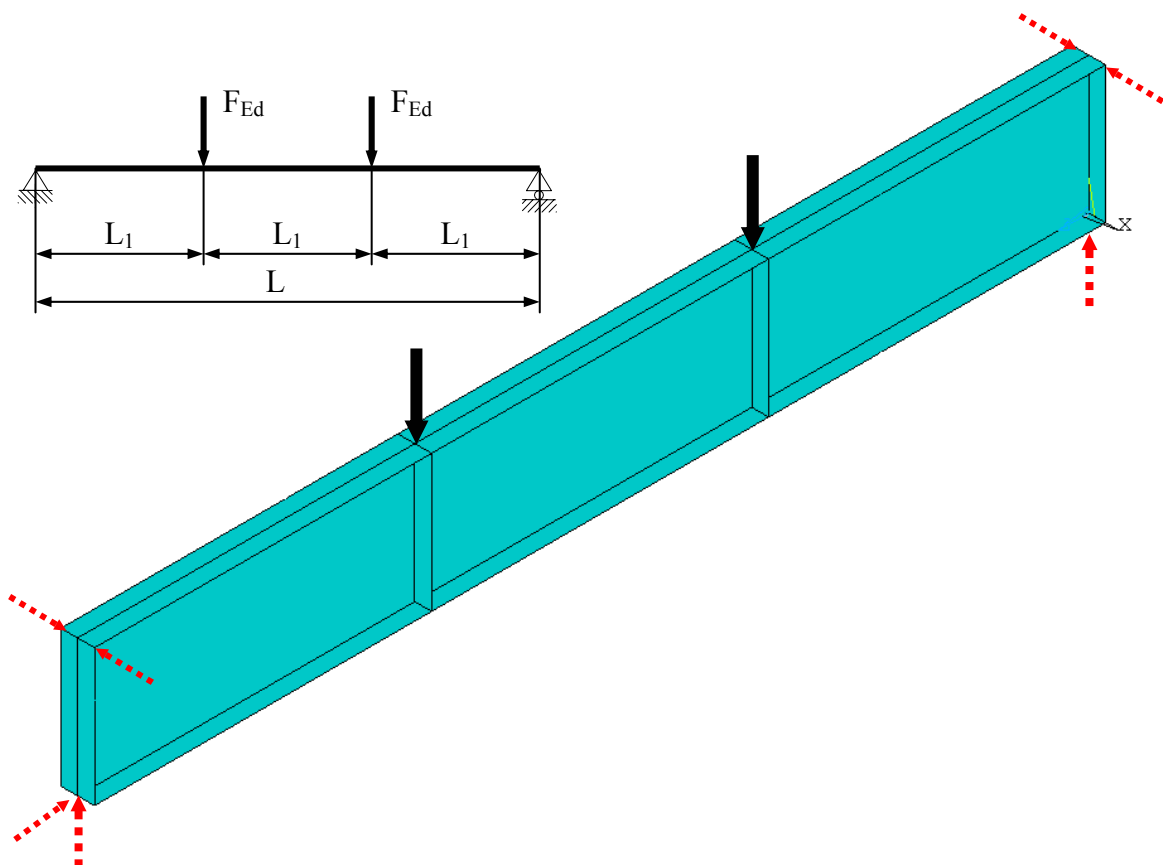
3.22. ábra: Térbeli elcsavarodó kihajlás.



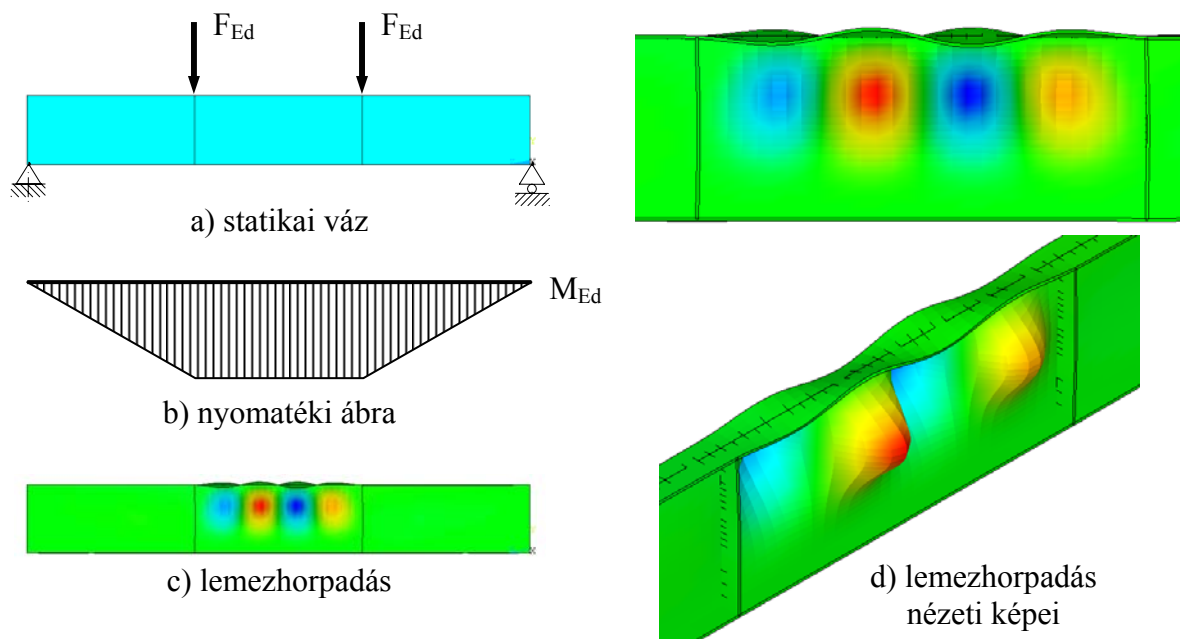
3.23. ábra: Rúdkifordulás – alaktartó keresztmetszet.



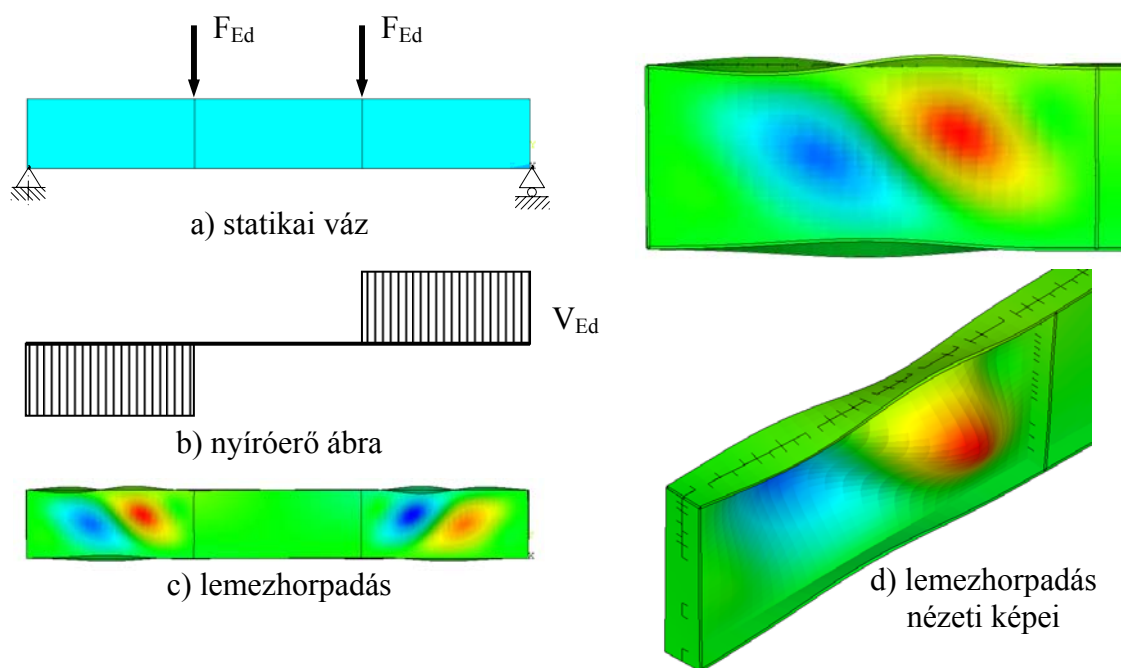
3.24. ábra: Rúdkifordulás – nem alaktartó keresztmetszet.



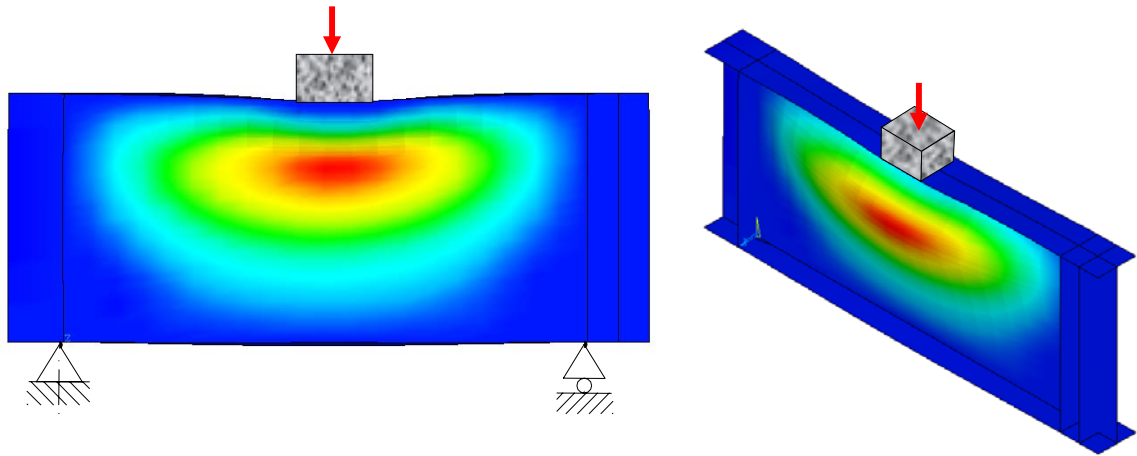
3.25. ábra: Mintapélda – hegesztett gerenda.



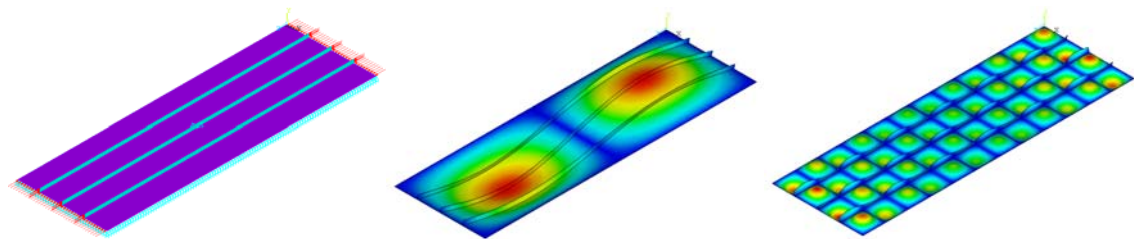
3.26. ábra: Hajlított gerinclemez lemezhorpadása.



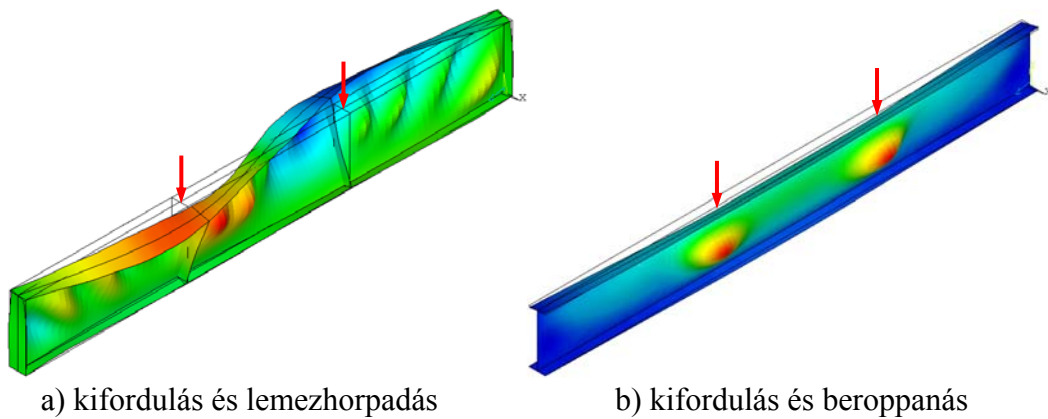
3.27. ábra: Nyírt gerinclemez lemezhorpadása.



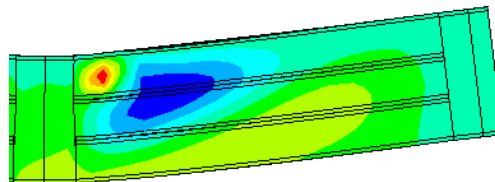
3.28. ábra: Beroppanás erőbevezetés alatt.



a) merevített lemez b) teljes lemez horpadása c) lokális lemezhorpadás
 3.29. ábra: Négy szélén megtámasztott, merevített lemez teljes és lokális lemezhorpadása egyenletes nyomás esetén.



a) kifordulás és lemezhorpadás b) kifordulás és beroppanás



c) lokális lemezhorpadás hajlítás hatására és teljes lemez nyírási horpadása

3.30. ábra: Stabilitási jelenségek kölcsönhatása.

A fentiek alapján láthatjuk, hogy a szilárdsági vizsgálatok mellett számos egyéb stabilitási jelenséget is vizsgálni kell a szerkezeti elemek tervezésekor. Az ismertett jelenségek mindegyike tárgyalható – több-kevesebb nehézség árán – a rugalmas stabilitástan keretein belül. Acélszerkezetek esetén azonban a stabilitásvizsgálat sohasem a rugalmas stabilitástan eszköztárával levezethető kritikus feszültségek, illetőleg igénybevételek alapján történik. Ennek az az oka, hogy a rugalmas stabilitástan – amellet, hogy tökéletesen rugalmas anyagi viselkedést

feltételez – abból indul ki, hogy a vizsgálandó szerkezeti elem tökéletes, imperfekcióktól mentes, azaz: tökéletesen egyenes vagy sík geometriájú, sajátfeszültségektől mentes, tökéletesen központosan terhelt. A valóságban ilyen tökéletes (más szóval ideális) szerkezeti elem nem létezik. Imperfekt esetben viszont már nem egyensúly-elágazással, hanem az ún. **képlékeny instabilitással** van dolgunk. A képlékeny instabilitás az egyensúly-elágazással szemben nem egy határozott teherszinten következik be, hanem egy, számos tényezőtől (pl. kezdeti görbeség nagysága) függő folyamat során. Ezt mutatják a 3.1. ábra vékony vonallal jelzett erő-elmozdulás diagramjai. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a tökéletlenségek következtében a szerkezeti elemek túlnyomó többségében a tényleges teherbírás kisebb-nagyobb mértékben alatta marad az egyensúly-elágazáshoz tartozó rugalmas (kritikus) értékeknek (kivételt képez a lemezhorpadás, amely esetben jelentős lehet a posztkritikus tartalék, lásd 3.1/b ábra). Ezért a vizsgálatokat kísérleti alapon kalibrált féltapasztalati összefüggésekkel végezzük; a számításokban helyenként megjelenő kritikus feszültség, erő vagy nyomaték pedig az elem karcsúságának jellemzésére szolgál csak és számítási segédmenyiségnek tekintendő. Hangsúlyozzuk, hogy a korábban bemutatott stabilitásvesztési alakok jellege a tökéletlenségek miatt nem változik, tehát a fejezetben tárgyalt osztályozás továbbra is érvényes.

A lokális stabilitásvesztési módok közül a nyomott/hajlított alkotólemezek horpadását (és a posztkritikus tartalékot) az Eurocode a keresztmetszeti osztályozással és a hatékony keresztmetszet számításával (4. km. osztály) veszi figyelembe, amelyet már korábban tárgyaltunk.

A következő fejezetekben részletesen ismertetjük a síkbeli rúdkihajlás, kifordulás és a nyírási horpadás Eurocode szerinti számítását, de nem foglalkozunk az elcsavarodó kihajlás és a beroppanás jelenségével (ezt a későbbi szakirányos tárgyak keretében ismertetjük). A fejezet utolsó részében az egyes stabilitásvesztési módok kölcsönhatásával (interakciójával) foglalkozunk.

3.3.2. Nyomott elemek kihajlása

A nyomott elemek ellenállásának meghatározása két alapvető lépésből áll: elsőként meghatározzuk a szerkezeti elem úgynevezett viszonyított karcsúságát, majd pedig ennek alapján kihajlási ellenállását. E két részt az alábbiakban elkülönítve tárgyaljuk, majd pedig néhány speciális előírást ismertetünk.

A viszonyított karcsúság meghatározása

A nyomott rúd vizsgálata során először a nyomott rúd viszonyított karcsúságát kell meghatározni, amelyet a legáltalánosabb esetben a következő képlet ad (megjegyzendő, hogy e képletet a szabvány nem tartalmazza, csupán az alábbiakban ismertetendő, az erővel felírt karcsúság általánosításának tekinthető):

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

ahol α_u a legjobban igénybe vett keresztmetszet szilárdsági tönkremeneteléhez, α_{cr} pedig az ideálisnak képzelt rúd egyensúly-elágazási határállapotához tartozó teherparaméter (vagyis α_u -val kell megszorozni a rúdra ható terheket, hogy elérjük a legjobban igénybe vett keresztmetszet szilárdsági tönkremenetelét, és α_{cr} -rel, hogy az ideálisnak képzelt rúd egyensúly-elágazási határállapotát). Ez az általános képlet nem nagyon kényelmes, de változó keresztmetszetű és a hossz mentén változó normálerővel terhelt rudakra, tetszőleges megtámasztási feltételek mellett alkalmazható. Megjegyzendő, hogy α_u meghatározásakor tiszta nyomásra 4. osztályú keresztmetszet esetén csak az A_{eff} hatékony keresztmetszeti területet szabad figyelembe venni.

Ha a rúdra ható N normálerő állandó (tehát a rudat két végén koncentrált N normálerő terheli), akkor a fenti képlet

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}}$$

formában írható; itt N_u a legjobban igénybe vett keresztmetszet szilárdsági tönkremenetelét (ill. 4. osztályú keresztmetszet esetén valamely alkotó lemezének horpadását) okozó N teherszint, N_{cr} pedig a kritikus erő.

Ha pedig a rúd keresztmetszete is állandó a tartó hossza mentén, a viszonyított karcsúság:

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

ahol általában $\bar{A} = A$, de tiszta nyomásra 4. osztályú keresztmetszet esetén $\bar{A} = A_{eff}$. Figyelembe véve, hogy a kritikus erőt általában a

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

képletből tudjuk kiszámítani, a $\bar{\lambda}$ viszonyított karcsúság kiszámítható a karcsúság szokásos képletéből kiindulva is:

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

ahol $v \cdot L$ a kihajlási hossz, $i = \sqrt{I/A}$ pedig az inerciasugár (4. osztályú keresztmetszetek esetén természetesen a hatékony keresztmetszeti jellemzőkből számítva). A λ karcsúságból a $\bar{\lambda}$ viszonyított karcsúság pedig a

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

képletből adódik. Itt λ_1 annak a képzeletbeli rúdnak a karcsúsága, amelynek kihajlása és keresztmetszetének megfolyása egyszerre következnek be, tehát amelyre

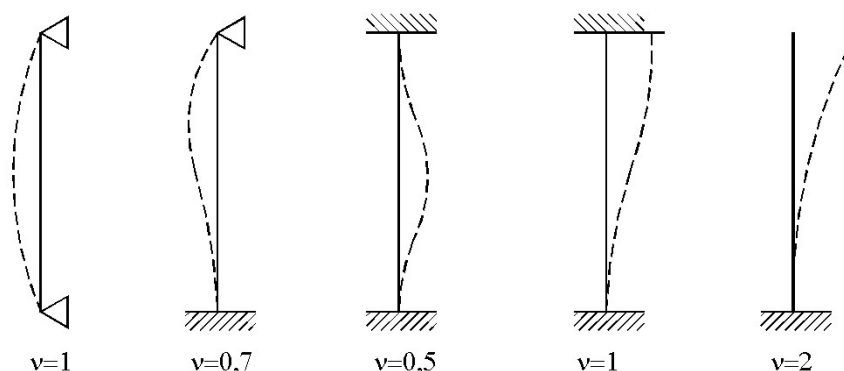
$$\frac{\pi^2 \cdot EA}{\lambda_1^2} = A \cdot f_y$$

tehát λ_1 anyagjellemző, hisz csak a rugalmassági modulustól és a folyáshatártól függ:

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

Ennek megfelelően:

- S235 anyagra: $\lambda_1 = 93,9$;
- S275 anyagra: $\lambda_1 = 86,8$;
- S355 anyagra: $\lambda_1 = 76,4$;
- S420 anyagra: $\lambda_1 = 70,2$;
- S460 anyagra: $\lambda_1 = 67,1$.



3.31. ábra: A v befogási tényező a legegyszerűbb megtámasztási viszonyok esetén.

Megjegyezzük, hogy a kritikus erőt, kritikus teherparamétert, illetőleg a v befogási tényezőket a rugalmas stabilitástan eszközeivel lehet meghatározni. Ez azt jelenti, hogy akár az MSZ 15024-ben, akár más szabályzati előírásokban vagy szakkönyvekben található képletek is alkalmazhatók. Egyszintes keretekre jól használható összefüggéseket tartalmaz a Halász–Platthy-tankönyv (310–316. o.), **de az EC3 1.1. rész BB melléklete is tartalmaz hasznos képleteket.** A legegyszerűbb esetekre a v befogási tényező a 3.31. ábra szerint vehető fel.

A kihajlási ellenállás számítása

A kihajlási ellenállás számítása ezek után a viszonyított karcsúság függvényében megadott χ csökkentő tényező segítségével történik, a következő összefüggésből:

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

ahol általában $\bar{A} = A$, de tiszta nyomásra $\bar{A} = A_{eff}$ a 4. osztályú keresztmetszetekre. A χ kihajlási csökkentő tényező a viszonyított karcsúság mellett függ a keresztmetszet alakjától is, és az ún. európai kihajlási görbékből (a_0 , a , b , c és d) határozható meg.

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

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

ahol

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

Ez utóbbi képletben α az ún. alakhiba-tényező, amely a keresztmetszet besorolásától függ, a 3.7. táblázat szerint; az egyes keresztmetszetek besorolását pedig a 3.8. táblázat szerint kell elvégezni.

A gyakorlatban (kézi számítás esetén) a fenti összefüggések helyett általában táblázatokat használunk a χ csökkentő tényező meghatározására, lsd. 3.9. táblázat.

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

3.7. táblázat: Az α alakhiba-tényező értékei.

A tényező az „alakhibák”, vagyis az imperfekciók nagyságát fejezi ki.

Keresztmetszet típusa	Eset		Kihajlás tengelye	Csoport	
				(a)	(b)
Hengerelt I szelvény	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y z	a b	a ₀ a ₀
		$40 \text{ mm} < t_f \leq 100 \text{ mm}$	y z	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y z	b c	a a
		$100 \text{ mm} < t_f$	y z	d d	c c
Hegesztett I szelvény	$t_f \leq 40 \text{ mm}$		y z	b c	b c
	$40 \text{ mm} < t_f$		y z	c d	c d
Zárt szelvényű idomacél	melegen hengerelt		bármely	a	a ₀
	hidegen alakított		bármely	c	c
Hegesztett zárt szelvény	általában		bármely	b	b
	erős varratok ($a > 0,5t_f$), továbbá $b/t_f < 30$ és $h/t_w < 30$		bármely	c	c
U, T és tömör szelvény	minden esetben		bármely	c	c
Szögacél	minden esetben		bármely	b	b

3.8. táblázat: Rudak besorolása a kihajlásvizsgálathoz.

Az „a₀” görbe jelenti a legkisebb, a „d” a legnagyobb csökkentést. A rudak besorolása imperfekcióiktól, elsősorban gyártási sajátfeszültségeiktől függ. Az utolsó két oszlopban: (a): S235–S420 anyagokra; (b) S460 anyagra.

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

3.9. táblázat: Az „ a_0 ” kihajlási görbe táblázata χ értékei $\bar{\lambda}$ függvényében.

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

3.9. táblázat (folyt.): Az „a” kihajlási görbe táblázata χ értékei $\bar{\lambda}$ függvényében.

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,20	1,0000	0,9965	0,9929	0,9894	0,9858	0,9822	0,9786	0,9750	0,9714	0,9678	0,20
0,30	0,9641	0,9604	0,9567	0,9530	0,9492	0,9455	0,9417	0,9378	0,9339	0,9300	0,30
0,40	0,9261	0,9221	0,9181	0,9140	0,9099	0,9057	0,9015	0,8973	0,8930	0,8886	0,40
0,50	0,8842	0,8798	0,8752	0,8707	0,8661	0,8614	0,8566	0,8518	0,8470	0,8420	0,50
0,60	0,8371	0,8320	0,8269	0,8217	0,8165	0,8112	0,8058	0,8004	0,7949	0,7893	0,60
0,70	0,7837	0,7780	0,7723	0,7665	0,7606	0,7547	0,7488	0,7428	0,7367	0,7306	0,70
0,80	0,7245	0,7183	0,7120	0,7058	0,6995	0,6931	0,6868	0,6804	0,6740	0,6676	0,80
0,90	0,6612	0,6547	0,6483	0,6419	0,6354	0,6290	0,6226	0,6162	0,6098	0,6034	0,90
1,00	0,5970	0,5907	0,5844	0,5781	0,5719	0,5657	0,5595	0,5534	0,5473	0,5412	1,00
1,10	0,5352	0,5293	0,5234	0,5175	0,5117	0,5060	0,5003	0,4947	0,4891	0,4836	1,10
1,20	0,4781	0,4727	0,4674	0,4621	0,4569	0,4517	0,4466	0,4416	0,4366	0,4317	1,20
1,30	0,4269	0,4221	0,4174	0,4127	0,4081	0,4035	0,3991	0,3946	0,3903	0,3860	1,30
1,40	0,3817	0,3775	0,3734	0,3693	0,3653	0,3613	0,3574	0,3535	0,3497	0,3459	1,40
1,50	0,3422	0,3386	0,3350	0,3314	0,3279	0,3245	0,3211	0,3177	0,3144	0,3111	1,50
1,60	0,3079	0,3047	0,3016	0,2985	0,2955	0,2925	0,2895	0,2866	0,2837	0,2809	1,60
1,70	0,2781	0,2753	0,2726	0,2699	0,2672	0,2646	0,2620	0,2595	0,2570	0,2545	1,70
1,80	0,2521	0,2496	0,2473	0,2449	0,2426	0,2403	0,2381	0,2359	0,2337	0,2315	1,80
1,90	0,2294	0,2272	0,2252	0,2231	0,2211	0,2191	0,2171	0,2152	0,2132	0,2113	1,90
2,00	0,2095	0,2076	0,2058	0,2040	0,2022	0,2004	0,1987	0,1970	0,1953	0,1936	2,00
2,10	0,1920	0,1903	0,1887	0,1871	0,1855	0,1840	0,1825	0,1809	0,1794	0,1780	2,10
2,20	0,1765	0,1751	0,1736	0,1722	0,1708	0,1694	0,1681	0,1667	0,1654	0,1641	2,20
2,30	0,1628	0,1615	0,1602	0,1590	0,1577	0,1565	0,1553	0,1541	0,1529	0,1517	2,30
2,40	0,1506	0,1494	0,1483	0,1472	0,1461	0,1450	0,1439	0,1428	0,1418	0,1407	2,40
2,50	0,1397	0,1387	0,1376	0,1366	0,1356	0,1347	0,1337	0,1327	0,1318	0,1308	2,50
2,60	0,1299	0,1290	0,1281	0,1272	0,1263	0,1254	0,1245	0,1237	0,1228	0,1219	2,60
2,70	0,1211	0,1203	0,1195	0,1186	0,1178	0,1170	0,1162	0,1155	0,1147	0,1139	2,70
2,80	0,1132	0,1124	0,1117	0,1109	0,1102	0,1095	0,1088	0,1081	0,1074	0,1067	2,80
2,90	0,1060	0,1053	0,1046	0,1039	0,1033	0,1026	0,1020	0,1013	0,1007	0,1001	2,90
3,00	0,0994	0,0988	0,0982	0,0976	0,0970	0,0964	0,0958	0,0952	0,0946	0,0940	3,00
3,10	0,0935	0,0929	0,0924	0,0918	0,0912	0,0907	0,0902	0,0896	0,0891	0,0886	3,10
3,20	0,0880	0,0875	0,0870	0,0865	0,0860	0,0855	0,0850	0,0845	0,0840	0,0835	3,20
3,30	0,0831	0,0826	0,0821	0,0816	0,0812	0,0807	0,0803	0,0798	0,0794	0,0789	3,30
3,40	0,0785	0,0781	0,0776	0,0772	0,0768	0,0763	0,0759	0,0755	0,0751	0,0747	3,40
3,50	0,0743	0,0739	0,0735	0,0731	0,0727	0,0723	0,0719	0,0715	0,0712	0,0708	3,50
3,60	0,0704	0,0700	0,0697	0,0693	0,0689	0,0686	0,0682	0,0679	0,0675	0,0672	3,60
3,70	0,0668	0,0665	0,0661	0,0658	0,0655	0,0651	0,0648	0,0645	0,0641	0,0638	3,70
3,80	0,0635	0,0632	0,0629	0,0626	0,0622	0,0619	0,0616	0,0613	0,0610	0,0607	3,80
3,90	0,0604	0,0601	0,0598	0,0595	0,0593	0,0590	0,0587	0,0584	0,0581	0,0578	3,90
4,00	0,0576	0,0573	0,0570	0,0567	0,0565	0,0562	0,0559	0,0557	0,0554	0,0552	4,00
4,10	0,0549	0,0546	0,0544	0,0541	0,0539	0,0536	0,0534	0,0532	0,0529	0,0527	4,10
4,20	0,0524	0,0522	0,0519	0,0517	0,0515	0,0512	0,0510	0,0508	0,0506	0,0503	4,20
4,30	0,0501	0,0499	0,0497	0,0494	0,0492	0,0490	0,0488	0,0486	0,0484	0,0481	4,30
4,40	0,0479	0,0477	0,0475	0,0473	0,0471	0,0469	0,0467	0,0465	0,0463	0,0461	4,40
4,50	0,0459	0,0457	0,0455	0,0453	0,0451	0,0449	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	4,50
4,60	0,0440	0,0438	0,0436	0,0435	0,0433	0,0431	0,0429	0,0427	0,0426	0,0424	4,60
4,70	0,0422	0,0420	0,0419	0,0417	0,0415	0,0414	0,0412	0,0410	0,0409	0,0407	4,70
4,80	0,0405	0,0404	0,0402	0,0401	0,0399	0,0397	0,0396	0,0394	0,0393	0,0391	4,80
4,90	0,0390	0,0388	0,0386	0,0385	0,0383	0,0382	0,0380	0,0379	0,0378	0,0376	4,90
5,00	0,0375	0,0373	0,0372	0,0370	0,0369	0,0367	0,0366	0,0365	0,0363	0,0362	5,00

3.9. táblázat (folyt.): Az „b” kihajlási görbe táblázata χ értékei $\bar{\lambda}$ függvényében.

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,20	1,0000	0,9949	0,9898	0,9847	0,9797	0,9746	0,9695	0,9644	0,9593	0,9542	0,20
0,30	0,9491	0,9440	0,9389	0,9338	0,9286	0,9235	0,9183	0,9131	0,9078	0,9026	0,30
0,40	0,8973	0,8920	0,8867	0,8813	0,8760	0,8705	0,8651	0,8596	0,8541	0,8486	0,40
0,50	0,8430	0,8374	0,8317	0,8261	0,8204	0,8146	0,8088	0,8030	0,7972	0,7913	0,50
0,60	0,7854	0,7794	0,7735	0,7675	0,7614	0,7554	0,7493	0,7432	0,7370	0,7309	0,60
0,70	0,7247	0,7185	0,7123	0,7060	0,6998	0,6935	0,6873	0,6810	0,6747	0,6684	0,70
0,80	0,6622	0,6559	0,6496	0,6433	0,6371	0,6308	0,6246	0,6184	0,6122	0,6060	0,80
0,90	0,5998	0,5937	0,5876	0,5815	0,5755	0,5695	0,5635	0,5575	0,5516	0,5458	0,90
1,00	0,5399	0,5342	0,5284	0,5227	0,5171	0,5115	0,5059	0,5004	0,4950	0,4896	1,00
1,10	0,4842	0,4790	0,4737	0,4685	0,4634	0,4583	0,4533	0,4483	0,4434	0,4386	1,10
1,20	0,4338	0,4290	0,4243	0,4197	0,4151	0,4106	0,4061	0,4017	0,3974	0,3931	1,20
1,30	0,3888	0,3846	0,3805	0,3764	0,3724	0,3684	0,3644	0,3606	0,3567	0,3529	1,30
1,40	0,3492	0,3455	0,3419	0,3383	0,3348	0,3313	0,3279	0,3245	0,3211	0,3178	1,40
1,50	0,3145	0,3113	0,3081	0,3050	0,3019	0,2989	0,2959	0,2929	0,2900	0,2871	1,50
1,60	0,2842	0,2814	0,2786	0,2759	0,2732	0,2705	0,2679	0,2653	0,2627	0,2602	1,60
1,70	0,2577	0,2553	0,2528	0,2504	0,2481	0,2457	0,2434	0,2412	0,2389	0,2367	1,70
1,80	0,2345	0,2324	0,2302	0,2281	0,2260	0,2240	0,2220	0,2200	0,2180	0,2161	1,80
1,90	0,2141	0,2122	0,2104	0,2085	0,2067	0,2049	0,2031	0,2013	0,1996	0,1979	1,90
2,00	0,1962	0,1945	0,1929	0,1912	0,1896	0,1880	0,1864	0,1849	0,1833	0,1818	2,00
2,10	0,1803	0,1788	0,1774	0,1759	0,1745	0,1731	0,1717	0,1703	0,1689	0,1676	2,10
2,20	0,1662	0,1649	0,1636	0,1623	0,1611	0,1598	0,1585	0,1573	0,1561	0,1549	2,20
2,30	0,1537	0,1525	0,1514	0,1502	0,1491	0,1480	0,1468	0,1457	0,1446	0,1436	2,30
2,40	0,1425	0,1415	0,1404	0,1394	0,1384	0,1374	0,1364	0,1354	0,1344	0,1334	2,40
2,50	0,1325	0,1315	0,1306	0,1297	0,1287	0,1278	0,1269	0,1260	0,1252	0,1243	2,50
2,60	0,1234	0,1226	0,1217	0,1209	0,1201	0,1193	0,1184	0,1176	0,1168	0,1161	2,60
2,70	0,1153	0,1145	0,1137	0,1130	0,1122	0,1115	0,1108	0,1100	0,1093	0,1086	2,70
2,80	0,1079	0,1072	0,1065	0,1058	0,1051	0,1045	0,1038	0,1031	0,1025	0,1018	2,80
2,90	0,1012	0,1006	0,0999	0,0993	0,0987	0,0981	0,0975	0,0969	0,0963	0,0957	2,90
3,00	0,0951	0,0945	0,0939	0,0934	0,0928	0,0922	0,0917	0,0911	0,0906	0,0901	3,00
3,10	0,0895	0,0890	0,0885	0,0879	0,0874	0,0869	0,0864	0,0859	0,0854	0,0849	3,10
3,20	0,0844	0,0839	0,0835	0,0830	0,0825	0,0820	0,0816	0,0811	0,0806	0,0802	3,20
3,30	0,0797	0,0793	0,0789	0,0784	0,0780	0,0775	0,0771	0,0767	0,0763	0,0759	3,30
3,40	0,0754	0,0750	0,0746	0,0742	0,0738	0,0734	0,0730	0,0726	0,0722	0,0719	3,40
3,50	0,0715	0,0711	0,0707	0,0703	0,0700	0,0696	0,0692	0,0689	0,0685	0,0682	3,50
3,60	0,0678	0,0675	0,0671	0,0668	0,0664	0,0661	0,0657	0,0654	0,0651	0,0647	3,60
3,70	0,0644	0,0641	0,0638	0,0635	0,0631	0,0628	0,0625	0,0622	0,0619	0,0616	3,70
3,80	0,0613	0,0610	0,0607	0,0604	0,0601	0,0598	0,0595	0,0592	0,0589	0,0586	3,80
3,90	0,0584	0,0581	0,0578	0,0575	0,0572	0,0570	0,0567	0,0564	0,0562	0,0559	3,90
4,00	0,0556	0,0554	0,0551	0,0549	0,0546	0,0544	0,0541	0,0539	0,0536	0,0534	4,00
4,10	0,0531	0,0529	0,0526	0,0524	0,0521	0,0519	0,0517	0,0514	0,0512	0,0510	4,10
4,20	0,0507	0,0505	0,0503	0,0501	0,0498	0,0496	0,0494	0,0492	0,0490	0,0488	4,20
4,30	0,0485	0,0483	0,0481	0,0479	0,0477	0,0475	0,0473	0,0471	0,0469	0,0467	4,30
4,40	0,0465	0,0463	0,0461	0,0459	0,0457	0,0455	0,0453	0,0451	0,0449	0,0447	4,40
4,50	0,0445	0,0443	0,0442	0,0440	0,0438	0,0436	0,0434	0,0432	0,0431	0,0429	4,50
4,60	0,0427	0,0425	0,0424	0,0422	0,0420	0,0418	0,0417	0,0415	0,0413	0,0412	4,60
4,70	0,0410	0,0408	0,0407	0,0405	0,0403	0,0402	0,0400	0,0399	0,0397	0,0395	4,70
4,80	0,0394	0,0392	0,0391	0,0389	0,0388	0,0386	0,0385	0,0383	0,0382	0,0380	4,80
4,90	0,0379	0,0377	0,0376	0,0374	0,0373	0,0371	0,0370	0,0369	0,0367	0,0366	4,90
5,00	0,0364	0,0363	0,0362	0,0360	0,0359	0,0358	0,0356	0,0355	0,0354	0,0352	5,00

3.9. táblázat (folyt.): Az „c” kihajlási görbe táblázata χ értékei $\bar{\lambda}$ függvényében.

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,20	1,0000	0,9921	0,9843	0,9765	0,9688	0,9611	0,9535	0,9459	0,9384	0,9309	0,20
0,30	0,9235	0,9160	0,9086	0,9013	0,8939	0,8866	0,8793	0,8721	0,8648	0,8576	0,30
0,40	0,8504	0,8432	0,8360	0,8289	0,8218	0,8146	0,8075	0,8005	0,7934	0,7864	0,40
0,50	0,7793	0,7723	0,7653	0,7583	0,7514	0,7444	0,7375	0,7306	0,7237	0,7169	0,50
0,60	0,7100	0,7032	0,6964	0,6897	0,6829	0,6762	0,6695	0,6629	0,6563	0,6497	0,60
0,70	0,6431	0,6366	0,6301	0,6237	0,6173	0,6109	0,6046	0,5983	0,5921	0,5859	0,70
0,80	0,5797	0,5736	0,5675	0,5615	0,5556	0,5496	0,5438	0,5379	0,5322	0,5265	0,80
0,90	0,5208	0,5152	0,5096	0,5041	0,4987	0,4933	0,4879	0,4826	0,4774	0,4722	0,90
1,00	0,4671	0,4620	0,4570	0,4521	0,4472	0,4423	0,4375	0,4328	0,4281	0,4235	1,00
1,10	0,4189	0,4144	0,4099	0,4055	0,4012	0,3969	0,3926	0,3884	0,3843	0,3802	1,10
1,20	0,3762	0,3722	0,3683	0,3644	0,3605	0,3568	0,3530	0,3493	0,3457	0,3421	1,20
1,30	0,3385	0,3350	0,3316	0,3282	0,3248	0,3215	0,3182	0,3150	0,3118	0,3086	1,30
1,40	0,3055	0,3024	0,2994	0,2964	0,2935	0,2906	0,2877	0,2849	0,2821	0,2793	1,40
1,50	0,2766	0,2739	0,2712	0,2686	0,2660	0,2635	0,2609	0,2585	0,2560	0,2536	1,50
1,60	0,2512	0,2488	0,2465	0,2442	0,2419	0,2397	0,2375	0,2353	0,2331	0,2310	1,60
1,70	0,2289	0,2268	0,2248	0,2228	0,2208	0,2188	0,2168	0,2149	0,2130	0,2112	1,70
1,80	0,2093	0,2075	0,2057	0,2039	0,2021	0,2004	0,1987	0,1970	0,1953	0,1936	1,80
1,90	0,1920	0,1904	0,1888	0,1872	0,1856	0,1841	0,1826	0,1810	0,1796	0,1781	1,90
2,00	0,1766	0,1752	0,1738	0,1724	0,1710	0,1696	0,1683	0,1669	0,1656	0,1643	2,00
2,10	0,1630	0,1617	0,1604	0,1592	0,1580	0,1567	0,1555	0,1543	0,1532	0,1520	2,10
2,20	0,1508	0,1497	0,1486	0,1474	0,1463	0,1452	0,1442	0,1431	0,1420	0,1410	2,20
2,30	0,1399	0,1389	0,1379	0,1369	0,1359	0,1349	0,1340	0,1330	0,1320	0,1311	2,30
2,40	0,1302	0,1292	0,1283	0,1274	0,1265	0,1257	0,1248	0,1239	0,1231	0,1222	2,40
2,50	0,1214	0,1205	0,1197	0,1189	0,1181	0,1173	0,1165	0,1157	0,1149	0,1142	2,50
2,60	0,1134	0,1127	0,1119	0,1112	0,1104	0,1097	0,1090	0,1083	0,1076	0,1069	2,60
2,70	0,1062	0,1055	0,1048	0,1042	0,1035	0,1029	0,1022	0,1016	0,1009	0,1003	2,70
2,80	0,0997	0,0990	0,0984	0,0978	0,0972	0,0966	0,0960	0,0954	0,0948	0,0943	2,80
2,90	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	0,0914	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	2,90
3,00	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	3,00
3,10	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	3,10
3,20	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	0,0769	0,0765	0,0761	0,0757	0,0752	0,0748	3,20
3,30	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	0,0728	0,0724	0,0721	0,0717	0,0713	0,0709	3,30
3,40	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	0,0691	0,0687	0,0683	0,0680	0,0676	0,0673	3,40
3,50	0,0669	0,0666	0,0663	0,0659	0,0656	0,0652	0,0649	0,0646	0,0643	0,0639	3,50
3,60	0,0636	0,0633	0,0630	0,0627	0,0624	0,0620	0,0617	0,0614	0,0611	0,0608	3,60
3,70	0,0605	0,0602	0,0599	0,0596	0,0594	0,0591	0,0588	0,0585	0,0582	0,0579	3,70
3,80	0,0577	0,0574	0,0571	0,0568	0,0566	0,0563	0,0560	0,0558	0,0555	0,0552	3,80
3,90	0,0550	0,0547	0,0545	0,0542	0,0540	0,0537	0,0535	0,0532	0,0530	0,0527	3,90
4,00	0,0525	0,0523	0,0520	0,0518	0,0516	0,0513	0,0511	0,0509	0,0506	0,0504	4,00
4,10	0,0502	0,0500	0,0497	0,0495	0,0493	0,0491	0,0489	0,0486	0,0484	0,0482	4,10
4,20	0,0480	0,0478	0,0476	0,0474	0,0472	0,0470	0,0468	0,0466	0,0464	0,0462	4,20
4,30	0,0460	0,0458	0,0456	0,0454	0,0452	0,0450	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	4,30
4,40	0,0441	0,0439	0,0437	0,0435	0,0433	0,0431	0,0430	0,0428	0,0426	0,0424	4,40
4,50	0,0423	0,0421	0,0419	0,0417	0,0416	0,0414	0,0412	0,0411	0,0409	0,0407	4,50
4,60	0,0406	0,0404	0,0403	0,0401	0,0399	0,0398	0,0396	0,0395	0,0393	0,0391	4,60
4,70	0,0390	0,0388	0,0387	0,0385	0,0384	0,0382	0,0381	0,0379	0,0378	0,0376	4,70
4,80	0,0375	0,0373	0,0372	0,0371	0,0369	0,0368	0,0366	0,0365	0,0364	0,0362	4,80
4,90	0,0361	0,0359	0,0358	0,0357	0,0355	0,0354	0,0353	0,0351	0,0350	0,0349	4,90
5,00	0,0347	0,0346	0,0345	0,0344	0,0342	0,0341	0,0340	0,0339	0,0337	0,0336	5,00

3.9. táblázat (folyt.): Az „d” kihajlási görbe táblázata χ értékei $\bar{\lambda}$ függvényében.

Rácsos tartók nyomott rúdjaikak méretezése

Az elméletileg levezetett értékek alapján számolt teherbírás néha nem egyezik jól a kísérleti vizsgálatok eredményeivel, más esetekben pedig a rúdvégek megtámasztása tér el a tökéletes csuklótól vagy befogástól, és ezért nem tudjuk kellő pontossággal meghatározni a teherbírást. Az ilyen eseteket a szabványok, így az Eurocode 3 is, kivételként kezelik, és empirikus alapon származtatott módosító tényezők bevezetésével írják elő teherbírásuk meghatározását.

Ilyen megfontolások alapján vonatkoznak külön előírások az Eurocode 3-ban is a rácsos tartók nyomott rúdjaikak méretezésére:

Övrudak esetén:

- általában: a kihajlási hossz mindkét irányú kihajláshoz azonosnak vehető fel a szerkezeti hosszal ($\nu = 1,0$);
- I és H szelvényű övrúdszelvény esetén a tartó síkjában bekövetkező kihajláshoz $\nu = 0,9$, a tartósíkra merőleges kihajláshoz $\nu = 1,0$ tételezhető fel;
- zárt szelvényű övrúdszelvény esetén mindkét irányú kihajláshoz $\nu = 0,9$ tételezhető fel;

Rácsrudak esetén:

- általában: a tartó síkjában bekövetkező kihajláshoz $\nu = 0,9$, a tartósíkra merőleges kihajláshoz $\nu = 1,0$ tételezhető fel;
- zárt szelvényű rácsrúd esetén, ha a rácsrudak bekötése csavarozott: a kihajlási hossz mindkét irányú kihajláshoz azonosnak veendő fel a szerkezeti hosszal ($\nu = 1,0$);
- zárt szelvényű rácsrúd esetén, ha a rácsrúdszelvény szélességének (átmérőjének) és az övrúdszelvény szélességének (átmérőjének) aránya 0,6-nál kisebb, akkor mindkét irányú kihajláshoz $\nu = 0,75$ tételezhető fel;
- szögacélból készült rácsrudak esetén a kihajlásvizsgálat során a következő, módosított viszonyított karcsúságot kell figyelembe venni (a tengelyek jelölését lsd. a 2.3. fejezetben – az xz sík a tartó síkja):
 - a ν tengely körüli kihajlásra: $\bar{\lambda}_{eff,\nu} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}_\nu$;
 - az y tengely körüli kihajlásra: $\bar{\lambda}_{eff,y} = 0,50 + 0,7\bar{\lambda}_y$;
 - a z tengely körüli kihajlásra: $\bar{\lambda}_{eff,z} = 0,50 + 0,7\bar{\lambda}_z$.

A rácsrudakra vonatkozó fenti megállapítások csakis akkor alkalmazhatók, ha az övrúd a rácsrudat kellőképpen megtámasztja, tehát például csavarozott bekötés esetén a rácsrudat legalább két csavarral kötjük az övrúddhoz.

3.9. Példa

Határozzuk meg, hogy mekkora központos erővel terhelhető az ábrán látható oszlop! Az oszlop geometriai adatait a 3.32. ábra és a befogási viszonyait a 3.33. ábra mutatja.

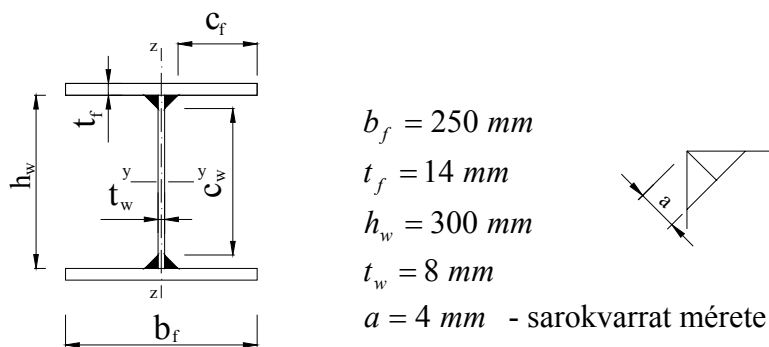
Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\lambda_1 = 93,9$

Keresztmetszeti adatok:

öv: 250-14

gerinc: 300-8

nyakvarrat: $a = 4 \text{ mm}$ kétoldali sarokvarrat



$$b_f = 250 \text{ mm}$$

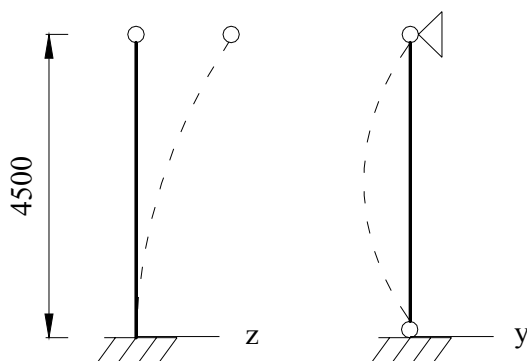
$$t_f = 14 \text{ mm}$$

$$h_w = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm} - \text{sarokvarrat mérete}$$

3.32. ábra: Szelvény geometria.



3.33. ábra: Kihajlási hosszak.

$$v_y = 2,0 \text{ (y tengely körüli kihajlás)}$$

$$v_z = 1,0 \text{ (z tengely körüli kihajlás)}$$

A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállását a következő összefüggéssel számítjuk (feltételezzük, hogy a keresztmetszet legalább 3. keresztmetszeti osztályú):

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

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{250}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8,0}{2} = 115,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{115,3}{14} = 8,24 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 300 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 288,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{288,7}{8} = 36,09 < 38 \cdot \varepsilon = 38$$

tehát a gerinc 2. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 2. keresztmetszeti osztályú.

A keresztmetszet adatai:

$$A = 30 \cdot 0,8 + 2 \cdot 25 \cdot 1,4 = 94 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{30^3 \cdot 0,8}{12} + \left(\frac{25 \cdot 1,4^3}{12} + 25 \cdot 1,4 \cdot \left(15 + \frac{1,4}{2} \right)^2 \right) \cdot 2 = 19065,7 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{19065,7}{94}} = 14,24 \text{ cm}$$

$$I_z = \frac{30 \cdot 0,8^3}{12} + 2 \cdot \frac{25^3 \cdot 1,4}{12} = 3647,1 \text{ cm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3647,1}{94}} = 6,22 \text{ cm}$$

A karcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{2 \cdot 450}{14,24} = 63,20$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{1 \cdot 450}{6,22} = 72,35$$

A viszonyított karcsúságok:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{63,20}{93,9} = 0,67$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{72,35}{93,9} = 0,77$$

A χ csökkentő tényező meghatározása: (táblázatból)

$$\bar{\lambda}_y = 0,67 \rightarrow \text{b kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,8004$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,77 \rightarrow \text{c kihajlási görbe} \quad \chi_z = 0,6810$$

$$\chi = \chi_z = 0,6810$$

A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

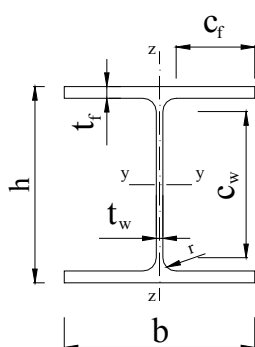
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,6810 \cdot \frac{94 \cdot 23,5}{1,0} = 1504,3 \text{ kN}$$

3.10. Példa

Határozza meg a HE 300 A szelvényű központosan nyomott oszlop tervezési kihajlási ellenállását a szelvényt az optimális irányba forgatva, ha a rúd hossza 9000 mm, a befogási viszonyok: egyik síkban alul befogott, felül csuklós, eltolódás ellen megtámasztott, másik síkban alul és felül is csuklós, eltolódás ellen megtámasztott. Az oszlop geometriai adatait a 3.34. ábra, a befogási viszonyait a 3.35. ábra mutatja.

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\lambda_1 = 93,9$

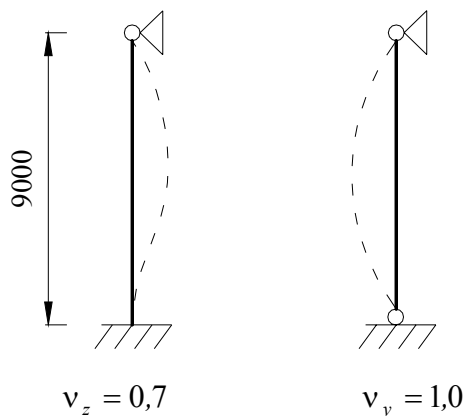
Keresztmetszeti adatok: HEA 300 (táblázatból)



$b = 300 \text{ mm}$	$t_f = 14 \text{ mm}$
$h = 290 \text{ mm}$	$t_w = 8,5 \text{ mm}$
$r = 27 \text{ mm}$	
$A = 113 \text{ cm}^2$	
$W_y = 1260 \text{ cm}^3$	$W_{pl} = 1383 \text{ cm}^3$
$I_y = 18260 \text{ cm}^4$	
$i_y = 12,7 \text{ cm}$	$i_z = 7,49 \text{ cm}$

3.34. ábra: Szelvény geometria.

A szelvény optimális irányba forgatása azt jelenti, hogy a szelvényt, a befogási viszonyokat figyelembe véve, úgy kell elhelyezni, hogy a tervezési kihajlási ellenállása minél nagyobb legyen. Könnyen belátható, hogy ez akkor teljesül, ha a szelvényt úgy forgatjuk, hogy $v_y = 1,0$ és $v_z = 0,7$ legyen.



3.35. ábra: Kihajlási hosszak.

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = \frac{b}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - 27 - \frac{8,5}{2} = 118,75 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{118,75}{14} = 8,48 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 290 - 2 \cdot 27 - 2 \cdot 14,0 = 208 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,47 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

A karcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 900}{12,7} = 70,87$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{0,7 \cdot 900}{7,49} = 84,11$$

A viszonyított karcsúságok:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{70,87}{93,9} = 0,75$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{84,11}{93,9} = 0,90$$

A χ csökkentő tényező meghatározása: (táblázatból)

$$\bar{\lambda}_y = 0,75 \rightarrow \text{b kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,7547$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,90 \rightarrow \text{c kihajlási görbe} \quad \chi_z = 0,5998$$

$$\chi = \chi_z = 0,5998$$

A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,5998 \cdot \frac{113 \cdot 23,5}{1,0} = 1592,8 \text{ kN}$$

Megjegyzés:

Ha a szelvényt a másik irányba forgatjuk ($v_y = 0,7$ és $v_z = 1,0$), akkor a karcsúságok a következőképpen alakulnak:

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{0,7 \cdot 900}{12,7} = 49,61$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{1,0 \cdot 900}{7,49} = 120,16$$

A viszonyított karcsúságok pedig:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{49,61}{93,9} = 0,53$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{120,16}{93,9} = 1,28$$

Ebben az esetben a χ tényező értéke kisebbre adódik: $\chi = 0,3974$, így kisebb tervezési kihajlási ellenállást kapnánk.

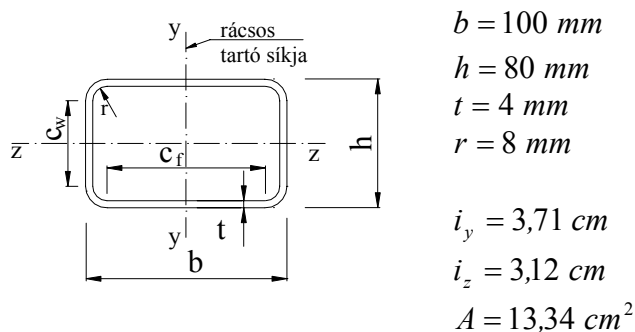
3.11. Példa

Egy rácsos tartó hegesztett bekötésű nyomott rácsrúdjának hossza 2000 mm, a rácsrúd szelvénye 100x80x4 hidegen hajlított zárt szelvény. Ellenőrizze a rácsrúdat 200 kN központos nyomóerőre, ha a rácsrúd szelvénye úgy áll, hogy a rövidebbik oldal párhuzamos a rácsos tartó síkjával (3.36. ábra)!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\lambda_1 = 93,9$

Rácsos tartó rácsrúdja esetén a kihajlási hosszak a következők (az általános szabály szerint): $v_z = 0,9$ a tartósíkban és $v_y = 1,0$ a tartósíkra merőleges kihajlás esetén.

Keresztmetszeti adatok: 100x80x4



3.36. ábra: Szelvény geometria.

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = b - 2 \cdot r - 2 \cdot t = 100 - 2 \cdot 8,0 - 2 \cdot 4,0 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t} = \frac{76}{4} = 19 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

Könnyen belátható, hogy a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet is 1. keresztmetszeti osztályú.

A karcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 2000}{3,71} = 53,91$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{0,9 \cdot 200}{3,12} = 57,69$$

A viszonyított karcúságok:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{53,91}{93,9} = 0,57$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{57,69}{93,9} = 0,61$$

A χ csökkentő tényező meghatározása: (táblázatból)

$$\bar{\lambda}_y = 0,57 \rightarrow \text{c kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,8030$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,61 \rightarrow \text{c kihajlási görbe} \quad \chi_z = 0,7794$$

$$\chi = \chi_z = 0,7794$$

A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,7794 \cdot \frac{13,34 \cdot 23,5}{1,0} = 244,3 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$N_{Ed} = 200 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 244,3 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

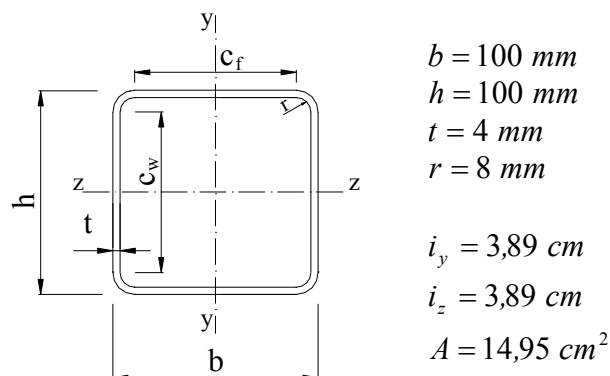
3.12. Példa

Egy rácsos tartó nyomott övén a csomóponti távolság 3000 mm, a csomópontok keresztirányban meg vannak támasztva. Határozza meg a nyomott övrúd tervezési kihajlási ellenállását, ha annak szelvénye 100x100x4 hidegen hajlított zárt szelvény!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\lambda_1 = 93,9$

Zárt szelvényű rácsos tartó övrúdja esetén a kihajlási hosszak a következők:
 $v_z = 0,9$ a tartósíokban és $v_y = 0,9$ a tartósíkra merőleges kihajlás esetén.

Keresztmetszeti adatok: 100x100x4



3.37. ábra: Szelvény geometria.

A keresztmetszet osztályozása:

Öv/Gerinc:

$$c_f = b - 2 \cdot r - 2 \cdot t = 100 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t} = \frac{76}{4} = 19 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát az öv/gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályú.

A karcsúságok:

$$\lambda = \lambda_y = \lambda_z = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{0,9 \cdot 300}{3,89} = 69,41$$

A viszonyított karcsúság:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{69,41}{93,9} = 0,74$$

A χ csökkentő tényező meghatározása: (táblázatból)

$$\bar{\lambda} = 0,74 \rightarrow \text{c kihajlási görbe} \quad \chi = 0,6998$$

A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,6998 \cdot \frac{14,95 \cdot 23,5}{1,0} = 245,86 \text{ kN}$$

3.3.3. Hajlított elemek kifordulása

Az Eurocode 3 EN változata a hajlított gerendák kifordulásának vizsgálatára három módszert ajánl. Ezek közül a tervező – a szabvány, illetőleg a szabványhoz csatolt nemzeti melléklet szabta keretek között – szabadon választhatja ki a ténylegesen elvégzendő vizsgálatot. A megfeleléseget természetesen elegendő egyetlen módszerrel kimutatni.

Az általános módszer minden esetben alkalmazható, és alapvetően abból indul ki, hogy a gerenda keresztmetszetei a kifordulás során megőrzik eredeti alakjukat, tehát ún. alaktartó kifordulás következik be; továbbá feltételezi, hogy a kifordulás úgynevezett szabad tengely körüli kifordulás formájában játszódik le. Formailag az általános módszer teljes mértékben analóg a nyomott rudak kihajlásvizsgálatának EC3 szerinti módszerével.

Az alternatív módszer az általános módszertől a kifordulási csökkentő tényezőt megadó görbék, az úgynevezett kihajlási görbék alakjában tér el. Míg az általános módszer a nyomott rudak vizsgálatánál is használt görbéket használja, az alternatív módszer speciális, csak kifordulásra alkalmazható görbéket alkalmaz. Az alternatív módszer csak szabványos hengerelt, illetőleg ahhoz közelítő alakú hegesztett szelvényekből készült gerendák vizsgálatára alkalmazható. Ezt a módszert részletesen ebben a jegyzetben nem tárgyaljuk.

Az egyszerűsített módszer kiindulási feltételei gyökeresen eltérnek az előző két módszerétől. A számítási módszer formailag egy helyettesítő nyomott rúd kihajlásvizsgálatából áll, ami mögött fizikailag az a megfigyelés húzódik meg, hogy a kifordulás közben a vékony gerincű tartók gerinclemeze eltorzul (mintegy elhajlik), azaz nem tartja meg eredeti sík alakját, és végső soron úgy viselkedik, mintha valóban a tartó nyomott övlemeze és annak környéke hajlana ki nyomott rúd módjára. Ez a módszer az Eurocode 3 szerint csak magasépítési szerkezetekben (tehát épületekben) elhelyezkedő gerendákra alkalmazható. Ez az eljárás lényegét tekintve a hazai gyakorlatban is széles körben ismert, övmerevség-vizsgálat elnevezéssel. A jegyzet további részeiben is ezt a megnevezést fogjuk használni.

A kifordulásvizsgálat általános módszere

A kifordulásvizsgálat az Eurocode 3 szerint a nyomott rúd kihajlási vizsgálatával analóg módon, két fő lépésben történik: először meghatározzuk az ún. kifordulási viszonyított karcsúságot, majd ennek alapján a gerenda kifordulási ellenállását.

A következőkben ismertetendő képletek feltételezik, hogy a gerenda hajlítása a keresztmetszet erős (y) tengelye körül történik, és a keresztmetszet legalább egyszeresen, a gyenge (z) tengelyre nézve szimmetrikus.

A kifordulási viszonyított karcsúság

A kifordulási viszonyított karcsúságot a kihajláshoz tartozó viszonyított karcsúság képletével analóg módon, a következőképpen számítjuk:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha_u}{\alpha_{cr}}}$$

(a betűk ugyanazt jelentik, mint a kihajlásvizsgálat kapcsán felírt, azonos alakú összefüggésben), amely állandó keresztmetszet esetén

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

ahol W a gerendaszelvény keresztmetszeti modulusa (1. és 2. osztályú szelvény esetén W_{pl} , 3. osztályú szelvény esetén W_{el} , 4. osztályú szelvény esetén pedig W_{eff}), M_{cr} pedig a kifordulási kritikus nyomaték (azaz a nyomatéki maximum értéke a kritikus állapotban).

Nehézséget általában a kifordulási kritikus nyomaték meghatározása jelent – ez korántsem olyan egyszerű, mint nyomás esetén a kritikus erő meghatározása volt. Általánosságban, a kritikus nyomaték a rugalmas stabilitástan módszereivel határozható meg (emlékeztetünk rá, hogy a *kritikus* szó arra utal, hogy ideális, tehát tökéletes geometriájú, sajátfeszültségektől mentes és lineárisan rugalmas anyagú gerenda teherbíró képességéről van szó). A kifordulásvizsgálat alapmodellje a kéttámaszú, két végén csuklós/villás megtámasztású, két végén egyenlő nyomatékkal terhelt, kétszeresen szimmetrikus keresztmetszetű gerenda; más esetekre csupán közelítő képletek állnak rendelkezésre kézikönyvekben.

A gyenge tengelyére szimmetrikus, erős tengelye körül hajlított keresztmetszetű gerenda kritikus nyomatékának általános képlete az EC3 ENV változata szerint:

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot GI_t}{\pi^2 \cdot EI_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

ahol:

- L a tartó támaszköze (két szomszédos oldalirányú megtámasztás távolsága)
- I_z a gyenge tengely körüli inercia
- I_t az ún. egyszerű csavarási inercia, amelynek értéke nyitott vékonyfalú szelvények esetén $I_t = \frac{1}{3} \sum b_i t_i^3$ (itt b_i és t_i a szelvényt alkotó lemezek szélességi mérete és vastagsága), hengerelt szelvények esetén általában szelvénytáblázatból vehető;
- I_w az ún. gátolt csavarási inercia – mértékegysége cm^6 ; közelítő képlete kétszeresen szimmetrikus I szelvényekre

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

értéke általában ugyancsak megtalálható szelvénytáblázatokban (pl. az [1]-ben J_ω -val jelölt és torzulási modulusnak nevezett mennyiség; ugyanitt, a 37–39. oldalon több szelvénytípusra találunk közelítő képletet);

- z_g közvetlenül terhelt gerendák esetén a teher támadáspontja és a keresztmetszet csavarási középpontja közötti függőleges távolság; akkor pozitív, ha a támadáspont a csavarási középpont felett van; ha nincs közvetlen teher (a gerendát csak a két végén ható hajlítónyomatékok terhelik), akkor értéke zérus;
- z_j kétszeresen szimmetrikus keresztmetszet esetén zérus, egyszeresen szimmetrikus keresztmetszetekre pedig

$$z_j = z_s - \frac{1}{2I_y} \cdot \int (y^2 + z^2) \cdot z \, dA$$

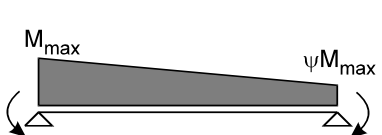
(itt z_s a csavarási középpont koordinátája, y és z pedig a súlyponton átmenő derékszögű koordinátarendszerben értelmezett koordináták); aszimmetrikus I szelvényre közelítően $z_j = \beta_j \cdot h_s \cdot (2\beta_f - 1)$, ahol h_s az övlemezek nyírási középpontjának távolsága,

$$\beta_f = \frac{I_{fc}}{I_{fc} + I_{ft}} \quad (\text{itt } I_{fc} \text{ és } I_{ft} \text{ a szelvény nyomott, illetve húzott övének inercianyomatéka a}$$

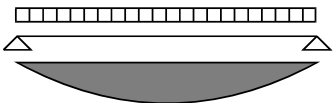
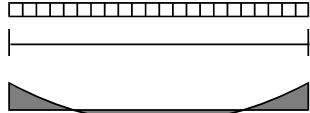
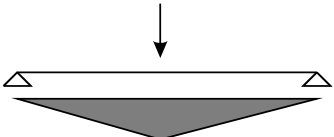
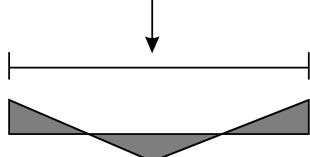
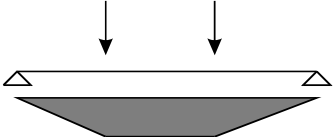
szelvény gyenge tengelye körül), továbbá $\beta_j = 0,4$ ha $\beta_f > 0,5$ és $\beta_j = 0,5$ ha $\beta_f \leq 0,5$;

- C_1 , C_2 és C_3 a nyomatéki ábrának a vizsgált szakaszon (tehát két szomszédos oldalirányú megtámasztás között) érvényes alakjától, valamint k értékétől függő tényező, a 3.10. és 3.11. táblázatok szerint;
- k a vizsgált tartószakasz végkeresztmetszeteinek elfordulás elleni megfogását jellemző szám: mindkét vég teljes értékű megfogása esetén $k = 0,5$, két szabad rúdvég esetén $k = 1,0$;
- k_w a vizsgált tartószakasz végkeresztmetszeteinek vetemedés (öblösödés) elleni megfogását jellemző szám: mindkét vég teljes értékű megfogása esetén $k_w = 0,5$, két szabad rúdvég esetén $k_w = 1,0$.

Folytatólagos tartók közbenső szakaszainak ellenőrzéséhez a k és a k_w tényezők értékét 1,0-val vesszük számításba.

Statikai váz	ψ	k	C_1	C_2	C_3
	1	1,0	1,000	–	1,000
		0,7	1,000		1,113
		0,5	1,000		1,144
	0,75	1,0	1,141	–	0,998
		0,7	1,270		1,565
		0,5	1,305		2,283
	0,5	1,0	1,323	–	0,992
		0,7	1,473		1,556
		0,5	1,514		2,271
	0,25	1,0	1,563	–	0,977
		0,7	1,739		1,531
		0,5	1,788		2,235
0	1,0	1,879	–	0,939	
	0,7	2,092		1,473	
	0,5	2,150		2,150	
–0,25	1,0	2,281	–	0,855	
	0,7	2,538		1,340	
	0,5	2,609		1,957	
–0,5	1,0	2,704	–	0,676	
	0,7	3,009		1,059	
	0,5	3,093		1,546	
–0,75	1,0	2,927	–	0,366	
	0,7	3,009		0,575	
	0,5	3,093		0,837	
–1	1,0	2,752	–	0,000	
	0,7	3,063		0,000	
	0,5	3,149		0,000	

3.10. táblázat: A kifordulásvizsgálathoz szükséges C tényezők közvetlenül **nem** terhelt gerendákra.

Statikai váz	ψ	k	C_1	C_2	C_3
	–	1,0 0,5	1,132 0,972	0,459 0,304	0,525 0,980
	–	1,0 0,5	1,285 0,712	1,562 0,652	0,753 1,070
	–	1,0 0,5	1,365 1,070	0,553 0,432	1,730 3,050
	–	1,0 0,5	1,565 0,938	1,267 0,715	2,640 4,800
	–	1,0 0,5	1,046 1,010	0,430 0,410	1,120 1,890

3.11. táblázat: A kifordulásvizsgálathoz szükséges C tényezők közvetlenül terhelt gerendákra.

A kifordulási ellenállás számítása

A hajlított gerenda kifordulási ellenállását a következő képlet szolgáltatja:

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

ahol χ_{LT} a kifordulási csökkentő tényező (lsd. lejjebb), W pedig az előzőekhez hasonlóan a gerendaszelvény keresztmetszeti modulusa (1. és 2. osztályú szelvény esetén W_{pl} , 3. osztályú szelvény esetén W_{el} , 4. osztályú szelvény esetén pedig W_{eff}).

A χ_{LT} kifordulási csökkentő tényező a χ kihajlási csökkentő tényezőre a 3.3.2. szakaszban, kihajlásra adott képletek segítségével számítható, a 3.12. táblázat szerinti kihajlási görbe, illetőleg az annak megfelelő α tényező feltételezésével. Kézi számítás esetén a gyakorlatban a képletek helyett a 3.9. táblázatot használjuk.

Keresztmetszet	Korlátozás	Kihajlási görbe
Hengerelt I szelvény	$h/b \leq 2$	<i>a</i>
	$h/b > 2$	<i>b</i>
Hegesztett I szelvény	$h/b \leq 2$	<i>c</i>
	$h/b > 2$	<i>d</i>
Más szelvény		<i>d</i>

3.12. táblázat: A kihajlási görbe felvétele a kifordulásvizsgálathoz.

A kifordulásvizsgálat egyszerűsített módszere (övmerevség-vizsgálat)

Ebben a vizsgálatban a kiforduló keresztmetszet tönkremenetelének vizsgálatát egy helyettesítő nyomott rúd vizsgálatára vezetjük vissza. A helyettesítő rúd T szelvényű; övlemeze megegyezik a vizsgált gerenda szelvényének nyomott övével, gerinclemeze pedig az eredeti szelvény gerinclemeze nyomott szakaszának harmadával megegyező magasságú, az eredetivel azonos vastagságú lemez. (Megjegyezzük, hogy a szabvány előírásai szerint a gerinclemez nyomott része *területének* harmadát kell figyelembe venni, de gyakorlati szempontból egyszerűbb, ha a *magasság* harmadával számolunk. Ezzel a biztonság javára közelítünk.) Tisztán hajlított keresztmetszetekben tehát, mivel ott a teljes gerincmagasság *fele* nyomott, az övmerevség-vizsgálathoz felveendő helyettesítő T szelvény gerincének magassága az eredeti gerincmagasság *hatodával* lesz egyenlő.

A vizsgálat szerint a gerenda kifordulási nyomatéki ellenállását a következő összefüggés adja:

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \cdot \chi \cdot M_{c,Rd} \quad \text{de} \quad M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

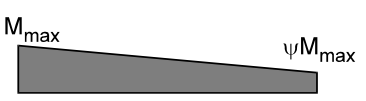






ahol k_{fl} korrekciós tényező, amelynek szabvány szerinti ajánlott értéke 1,10; $M_{c,Rd}$ a gerenda keresztmetszetének nyomatéki ellenállása, amelynek számításában azonban – lévén szó globális stabilitásvesztési tönkremenetelről – a γ_{M0} helyett a γ_{M1} biztonsági tényezőt vesszük figyelembe; χ pedig a helyettesítő T keresztmetszet $\bar{\lambda}_f$ viszonyított karcsúságából és a *c* kihajlási görbe feltételezésével számított kihajlási csökkentő tényező. A *d* kihajlási görbét kell azonban felhasználni akkor, ha a tartó olyan hegesztett I keresztmetszetből készül, amelyben a teljes magasság és az övlemezvastagság hányadosára:

$$\frac{h}{t_f} \leq 44\varepsilon$$

A fenti $\bar{\lambda}_f$ viszonyított karcsúságot a következő képlet adja:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{fz} \cdot \lambda_1}$$

tehát végső soron a helyettesítő T keresztmetszetnek a szimmetriatengelye körüli síkbeli kihajlásához tartozó kihajlási viszonyított karcsúság, amelynek számítása során a k_c tényezőben figyelembe vesszük azt a hatást, hogy a nyomófeszültségek eredője a tartó hossza mentén nem állandó, hanem megoszlása arányos a nyomatéki ábrával. A tényező konkrét értékei a 3.13. táblázat alapján vehetők fel.

A nyomatéki ábra alakja	k_c tényező
	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

3.13. táblázat: A k_c tényező értéke.

Nem szükséges elvégezni az övmerevség-vizsgálatot, ha a fentiekben meghatározott $\bar{\lambda}_f$ viszonyított karcsúságra teljesül a következő feltétel:

$$\bar{\lambda}_f \leq \bar{\lambda}_{c0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}$$

A $\bar{\lambda}_{c0}$ határkarcsúság szabvány szerinti értéke 0,5; a $M_{c,Rd}$ nyomatéki ellenállás számításában a γ_{M0} helyett itt is a γ_{M1} biztonsági tényezőt vesszük figyelembe.

Ez utóbbi képletet felhasználhatjuk arra is, hogy a megtámasztásoknak a kifordulásvizsgálat elkerüléséhez szükséges minimális távolságát meghatározzuk. Ha ugyanis olyan sűrűn vannak hatékony oldalirányú megtámasztások, hogy

$$L_c \leq 0,5 \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} \cdot \frac{i_{fc} \cdot \lambda_1}{k_c}$$

akkor a vizsgálat elvégzése szükségtelenné válik.

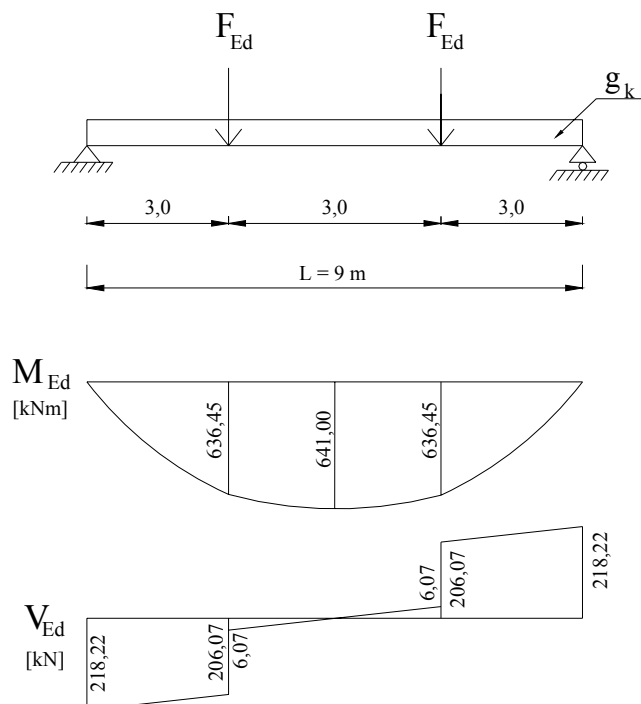
3.13 Példa

Ellenőrizzük kifordulásra az alábbi kéttámaszú gerendát!

A tartó melegen hengerelt HEA 450 profilból készült, mindkét vége „villás” megtámasztású.

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$

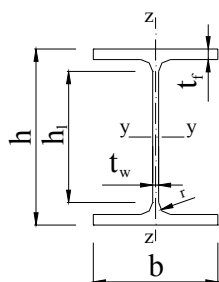
A gerenda terhelését és igénybevételeit a 3.38. ábra mutatja, $F_{Ed} = 200 \text{ kN}$, $g_k = 4,05 \text{ kN/m}$.



3.38. ábra: A gerenda terhelése és igénybevételei.

Keresztmetszeti adatok:

HEA 450 melegen hengerelt szelvény:



$$h = 440 \text{ mm} \quad h_1 = 344 \text{ mm} \quad t_w = 11,5 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm} \quad r = 27 \text{ mm}$$

$$A = 178 \text{ cm}^2 \quad I_y = 63720 \text{ cm}^4 \quad W_{pl,y} = 3220 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 9470 \text{ cm}^4 \quad I_t = 245 \text{ cm}^4 \quad I_w = 4146000 \text{ cm}^6$$

3.39. ábra: Szelvény geometria.

A keresztmetszet osztályozása hajlításra:

Öv:

$$c_f = \frac{b}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - 27 - \frac{11,5}{2} = 117,25 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{117,25}{21} = 5,58 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 440 - 2 \cdot 27 - 2 \cdot 21 = 344 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{344}{11,5} = 29,91 < 72 \cdot \varepsilon = 72$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Mivel mindkét szelvényrész 1. keresztmetszeti osztályú, ezért maga a szelvény is az.

Keresztmetszet ellenállásának ellenőrzése:

Hajlításra:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3220 \cdot 23,5}{1,0} = 756,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{641}{756,7} = 0,847 < 1 \quad \rightarrow \text{Megfelel!}$$

Nyírásra:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 178 - 2 \cdot 30 \cdot 2,1 + (1,15 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,1 = 65,76 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{65,76 \cdot 23,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 892,15 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{218,225}{892,15} = 0,25 < 1 \quad \rightarrow \text{Megfelel!}$$

Nyírás és hajlítás interakciójára:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,25 < 0,5 \quad \rightarrow \text{nem kell vizsgálni!}$$

a) A szerkezeti kialakítás szerint nincs közbülső megtámasztás, tehát a teljes támaszköz a kifordulási hossz.

A kifordulási kritikus nyomaték: (közelítő képlettel)

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

ahol:

$$l = 900 \text{ cm} \quad k = k_w = 1,0 \quad (\text{mindkét vég szabadon elfordul és torzul})$$

$$z_g = +22,0 \text{ cm} \quad (\text{a teher a gerenda felső övén hat})$$

$$z_j = 0 \quad (\text{kétszeresen szimmetrikus profil})$$

$$E = 21000 \frac{kN}{cm^2} \quad G = 8077 \frac{kN}{cm^2}$$

$$C_1 = 1,046; C_2 = 0,43; C_3 = 1,12 \quad (\text{lsd. 3.11. táblázat})$$

Behelyettesítve:

$$M_{cr} = 1,046 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470}{900^2} \left[\sqrt{\frac{4146 \cdot 10^3}{9470} + \frac{900^2 \cdot 8077 \cdot 245}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470} + (0,43 \cdot 22)^2} - 0,43 \cdot 22 \right]$$

$$M_{cr} = 68941,5 \text{ kNcm} = 689,42 \text{ kNm}$$

A gerenda kifordulási karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{M_{c,Rd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{756,7}{689,42}} = 1,098$$

A kifordulási csökkentő tényező (melegen hengerelt szelvény, tehát az „a” kihajlási görbe szerint)

$$\chi_{LT} = 0,596$$

A gerenda kifordulási ellenállása:

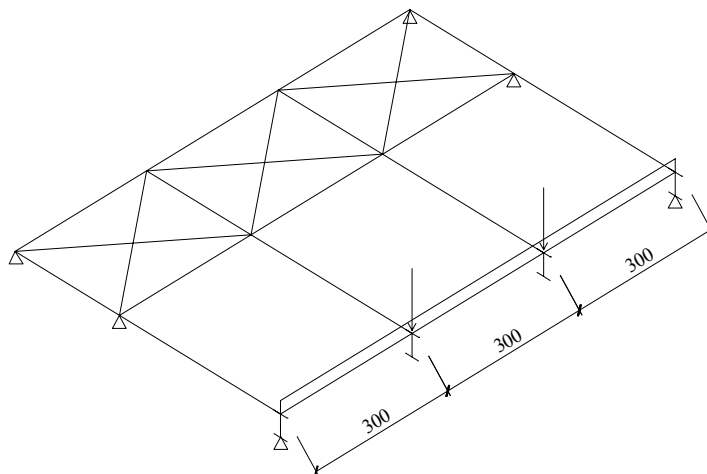
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,596 \cdot \frac{756,7}{1,0} = 450,99 \text{ kNm}$$

Gerenda ellenőrzése kifordulásra:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{641}{450,99} = 1,42 > 1 \quad \rightarrow \text{Nem felel meg!}$$

A tartó közbelső oldalirányú megtámasztás nélkül nem felel meg kifordulásra!

b) Oldjuk meg a feladatot úgy, hogy a támaszköz harmadában (a koncentrált erők átadási pontjaiban) oldalirányban a 3.40. ábra szerinti hatékony megtámasztásokkal látjuk el:



3.40. ábra: Gerenda oldalirányú megtámasztása.

A középső mezőben a két megtámasztás közötti tartószakasz kifordulását kell ellenőrizni. A felhasznált képlet (M_{cr}) az előző pont szerinti, a tényezők értékei:

$$l = 300 \text{ cm} \quad k = k_w = 1,0 \quad (\text{a szomszédos tartórészek nem vehetők befogásnak!!})$$

$$\psi \cong 1,0 \rightarrow C_1 = 1,0; C_2 = 0; C_3 = 1,0 \quad (\text{lsd. 3.10. táblázat})$$

A kifordulási kritikus nyomaték:

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470}{300^2} \left[\sqrt{\frac{4146 \cdot 10^3}{9470} + \frac{300^2 \cdot 8077 \cdot 245}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470}} \right] = 5013,8 \text{ kNm}$$

A gerendaszakasz karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{756,7}{5013,8}} = 0,39 \quad \text{az „a” kihajlási görbéből (lsd. 3.9. táblázat): } \chi_{LT} = 0,9554$$

A megtámasztott gerenda kifordulási ellenállása:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,9554 \cdot \frac{756,7}{1,0} = 722,95 \text{ kNm}$$

Gerenda ellenőrzése kifordulásra:

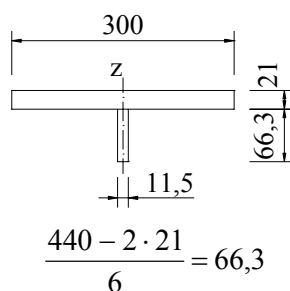
A kifordulási ellenállást összehasonlítva a tartószakaszon fellépő legnagyobb nyomatékkal.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{641}{722,95} = 0,887 < 1 \rightarrow \text{megfelelő!}$$

A gerenda oldalirányú megtámasztásokkal (szélráccsal ellátott merevítőrendszerrel) kifordulásra megfelelő.

c) *Ellenőrizzük a tartó kifordulását a megtámasztott kialakításban egyszerűsített kifordulásvizsgálati eljárással (övmerevségvizsgálattal)!*

A melegen hengerelt profil nyomott övrészét a lekerekítések elhanyagolásával két téglalappal helyettesítjük (megjegyzendő, hogy ez az elhanyagolás a biztonság kárára van, mert így az $i_{f,z}$ kisebb értékre adódik!). A nyomott övrész keresztmetszeti jellemzői (3.41. ábra):



$$A_{fz} = 30 \cdot 2,1 + 6,8 \cdot 1,15 = 70,82 \text{ cm}^2$$

$$I_{fz} = 2,1 \cdot \frac{30^3}{12} + 6,8 \cdot \frac{1,15^3}{12} = 4725,9 \text{ cm}^4$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{4725,9}{70,82}} = 8,17 \text{ cm}$$

3.41. ábra: A nyomott övrész geometriája.

A nyomott öv viszonyított karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{fz} \cdot \lambda_1} = \frac{1,0 \cdot 300}{8,17 \cdot 93,9} = 0,39$$

ahol:

$$\lambda_1 = 93,9 \quad (\text{S235 anyag})$$

$$k_c = 1,0 \quad (\text{lsd. 3.13. táblázat})$$

$$L_c = 300 \text{ cm} \quad (\text{oldalirányú megtámasztások távolsága})$$

Mivel

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$\bar{\lambda}_f < \bar{\lambda}_{c0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = 0,5 \cdot \frac{756,7}{641} = 0,59 \quad \rightarrow \text{a gerenda kifordulási vizsgálat nélkül is}$$

megfelelő!

Ha mégis elvégezzük a vizsgálatot, akkor a gerenda kifordulási ellenállása az övmerevségvizsgálat során a következők szerint számítható:

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \cdot \chi \cdot M_{cr,d} = 1,10 \cdot 0,9026 \cdot 756,7 = 751,29 \text{ kNm}$$

ahol

$$k_{fl} = 1,10$$

$$\chi = 0,9026 \quad \bar{\lambda}_f \text{ függvényében a 3.9. táblázatból, „c” kihajlási görbe}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{641}{751,29} = 0,853 < 1 \quad \rightarrow \text{MEGFELEL!}$$

Tehát a gerenda az egyszerűsített kifordulásvizsgálat alapján kifordulásra megfelelő.

3.3.4. Nyomott lemezek horpadása

3.3.5. Nyírt lemezek horpadása

Alapelvek

A gerinclemezek nyírási horpadási vizsgálata vékony gerincű tartók esetén lehet mértékadó azokon a szakaszokon, ahol nagy a nyíróerő.

A nyírási horpadást az Eurocode 3 előírásai szerint nem kell vizsgálni, amennyiben a gerinclemez h_w tiszta magasságának és t_w vastagságának arányára fennáll

- merevítetlen gerinclemezek esetén a $h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$,
- legalább a támaszok felett merevítőbordákkal merevített gerinclemezek esetén a $h_w/t_w \leq 31\varepsilon\sqrt{k_\tau}/\eta$

összefüggés, ahol ε a szokásos, az anyagminőséget figyelembe vevő együttható, k_τ a később részletezendő ún. nyírási horpadási tényező, η pedig a keresztmetszet nyírási vizsgálata (3.2.3. fejezet) kapcsán már látott módosító tényező, amelynek értékét a nemzeti melléklet szabályozza. Mivel itt – szemben a keresztmetszet vizsgálatával – a biztonság javára való közelítést a szükségesnél nagyobb η érték felvétele jelenti, a szabványban megadott ajánlott érték is nagyobb, $\eta = 1,20$.

A merevítetlen gerinclemezekre előírt $h_w/t_w \leq 72\varepsilon/\eta$ feltétel hengerelt szelvényből készült gerendák esetén a leggyakrabban teljesül, ezért melegen hengerelt gerendákat, legalábbis a nyírási horpadás miatt, nem kell részletesen vizsgálni. Ha ez a feltétel nem teljesül, akkor az Eurocode 3 előírásai szerint mindenképpen merevítőbordákat kell elhelyezni a támasz fölött, és ezek után a gerinclemezt mint merevített gerinclemezt kell vizsgálni.

Amennyiben a merevített gerinclemezekre nem teljesül a fenti $h_w/t_w \leq 31\varepsilon\sqrt{k_\tau}/\eta$ feltétel, a gerinclemezt részletesen kell vizsgálni. Erre az Eurocode 3 1.5. része egyetlen módszert tartalmaz (szemben az ENV változattal, amely két alternatív eljárást kínált). A módszer tulajdonképpen a *húzott sávok* elvén alapszik, és a nyírt, mind a négy oldalán (alul-felül övlemezekkel, keresztben merevítőbordákkal) megtámasztott gerinclemezt mint folyási alakzatot vizsgálja, és a nyírási teherbírást lényegében a gerinclemez és az övlemez hozzájárulása összegeként határozza meg. A módszer formailag ugyanakkor analóg az EC3-ban szabályozott többi stabilitásvizsgálattal, különösen pedig a hosszirányú nyomófeszültségekre vonatkozó vizsgálatokkal (ld. a 3.1.3. szakaszban).

A számítás menete

A módszer alkalmazási feltétele, hogy a gerinclemezekre legalább a támaszoknál függőleges merevítőbordákat kell tenni. A támaszoknál elhelyezkedő merevítőborda lehet merev véglehorgonyzást biztosító kialakítás vagy egyszerű, nem teljesen merev borda. A következőkben feltételezzük, hogy a gerinclemezen csak keresztirányú merevítőbordák vannak, legalább a támaszoknál.

A nyírási horpadás vizsgálata mindig egy *gerincpanel* (két szomszédos merevítőborda által határolt, téglalap alakú gerincszakasz) vizsgálatát jelenti; a gerincpanel hossza mentén fellépő legnagyobb nyírási igénybevételről kell kimutatni, hogy nem haladja meg a panel nyírási ellenállását. Ez utóbbi a következő képlettel számítható:

$$V_{c,Rd} = \frac{\chi_V \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

ahol a már ismert jelöléseken túl χ_V a nyírási horpadási csökkentő tényező. Mint már említettük, a nyírási horpadási ellenállást lényegében a gerinclemez és az övlemez nyírási horpadással szembeni ellenállása összegeként számítjuk. Ennek megfelelően:

$$\chi_V = \chi_w + \chi_f$$

A gerinclemez hozzájárulását leíró χ_w tényezőt a gerinclemez $\bar{\lambda}_w$ viszonyított lemezkarcsúsága alapján határozzuk meg, a következő összefüggések alapján:

- merev véglehorgonyzást biztosító végkiképzés, illetve a tartó közbenső támasza melletti gerincpanel vizsgálata esetén:

$$\chi_w = \begin{cases} \eta & \text{ha } \bar{\lambda}_w < \frac{0,83}{\eta} \\ \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} & \text{ha } \frac{0,83}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w < 1,08 \\ \frac{1,37}{0,7 + \bar{\lambda}_w} & \text{ha } 1,08 \leq \bar{\lambda}_w \end{cases}$$

- nem merev véglehorgonyzást biztosító végkiképzés esetén:

$$\chi_w = \begin{cases} \eta & \text{ha } \bar{\lambda}_w < \frac{0,83}{\eta} \\ \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} & \text{ha } \frac{0,83}{\eta} \leq \bar{\lambda}_w \end{cases}$$

A $\bar{\lambda}_w$ lemezkarcsúság meghatározásához a módszer a kritikus feszültségnek a nyomott lemezekre érvényes

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

képletéből indul ki, amely nyírt gerinclemez esetén a következőképpen írható:

$$\tau_{cr} = k_\tau \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left(\frac{t_w}{h_w}\right)^2$$

Itt a k_τ tényező a k_σ -hoz hasonlóan a vizsgált lemez megtámasztási és terhelési viszonyainak, továbbá hossz-szélesség arányának hatását tartalmazza. Nyírt gerinclemezeken esetén mind a megtámasztási viszonyok (négy oldalán megtámasztott lemez), mind a terhelési viszonyok (négy oldalán nyírt lemez) egységesek, ezért k_τ csak az $\alpha = a/h_w$ hossz-szélesség aránynak lesz függvénye, a következők szerint:

$$k_\tau = \begin{cases} 4 + \frac{5,34}{\alpha^2} & \text{ha } \alpha < 1,0 \\ 5,34 + \frac{4}{\alpha^2} & \text{ha } \alpha \geq 1,0 \end{cases}$$

Abban az esetben, ha a gerinclemez csak a támaszok fölött elhelyezett bordák merevítik, az $\alpha = \infty$ -hez tartozó $k_\tau = 5,34$ értéket használjuk.

A kritikus nyírófeszültségből a 3.3.3. szakaszban részletezett

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

képlet szellemében, a Huber–Mises–Hencky-féle folyási feltétel figyelembevételével származtatható egy $\bar{\lambda}_w$ viszonyított lemezkarcsúság (itt w a gerinclemeze utal):

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y / \sqrt{3}}{\tau_{cr}}}$$

amelyből levezethető, hogy

$$\bar{\lambda}_w = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{h_w}{t_w} \cdot \frac{1}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{h_w}{t_w} \cdot \frac{1}{37,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}}$$

adódik.

Az övlemez csak akkor járul hozzá a nyírási horpadási ellenálláshoz, ha a csak az övlemezekből (4. keresztmetszeti osztály esetén hatékony övlemezekből) álló képzeltek keresztmetszet $M_{f,Rd} = M_{f,Rk} / \gamma_{M1}$ nyomatéki ellenállása meghaladja az M_{Ed} hajlítónyomatéki igénybevételt (azaz az övek önmagukban is képesek lennének „elvinni” a nyomatékokot). Ekkor az övlemez hozzájárulását leíró χ_f tényezőt a következő képlet adja (feltételezve, hogy normálerő nincs):

$$\chi_f = \frac{b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf} \cdot \sqrt{3}}{c \cdot t_w \cdot h_w \cdot f_{yw}} \cdot \left[1 - \left(\frac{M_{Ed}}{M_{f,Rd}} \right)^2 \right]$$

ahol b_f az övlemez szélessége, mely a fenti képletben nem vehető nagyobbra, mint $t_w + 30\varepsilon \cdot t_f$; továbbá:

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6b_f \cdot t_f^2 \cdot f_{yf}}{t_w \cdot h_w^2 \cdot f_{yw}} \right)$$

A merevítőbordák méretezése

Az előzőekben megadott összefüggések csak akkor érvényesek, ha a keresztirányú merevítőborda kellő merevséggel rendelkezik ahhoz, hogy a gerinclemezek merev megtámasztást biztosítson (azaz a merevítőborda a nyírási horpadás felléptekor egyenes maradjon). Ennek ellenőrzéséhez (kétoldali borda esetén) feltételezzük, hogy a merevítőborda együtt dolgozik a gerinclemez egy, a 3.42. ábrán jelzett darabjával. A borda akkor kellő merevségű, ha a jelzett keresztmetszetnek a gerinclemez középsíkja vett I_{st} inerciájára teljesül a következő feltétel:

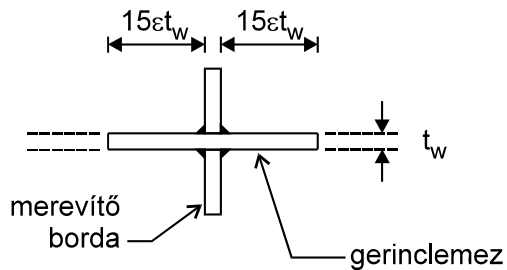
$$I_{st} \geq \begin{cases} \frac{1,5h_w^3 \cdot t_w^3}{a^2} & \text{ha } \frac{a}{h_w} < \sqrt{2} \\ 0,75h_w t_w^3 & \text{ha } \sqrt{2} \leq \frac{a}{h_w} \end{cases}$$

Másrészt, a borda teherbírását is ellenőrizni kell. E vizsgálat során a 3.42. ábrán jelzett, kereszt alakú keresztmetszet kihajlását kell ellenőrizni a gerinclemez középsíkja által kijelölt tengely körüli kihajlásra, $0,75h_w$ kihajlási hossz és a „c” kihajlási görbe feltételezésével, a következő N_{Ed} nyomóerőre:

$$N_{Ed} = V_{Ed} - \chi_w \cdot \frac{f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

ahol

- χ_w -t az előző pontban ismertetteknek megfelelően kell meghatározni egy olyan képzeletbeli gerincpanelre, amely az éppen vizsgált borda két oldalán elhelyezkedő két panel egyesítésével adódik, ha a vizsgált bordát képzeletben elhagyjuk;
- V_{Ed} pedig a nyíróerő tervezési értéke; ha a nyíróerő változik a két szomszédos gerincpanel mentén, akkor a nagyobb maximális nyíróerővel terhelt panel túlsó szélétől $0,5h_w$ távolságban elhelyezkedő nyíróerő értékét kell figyelembe venni.



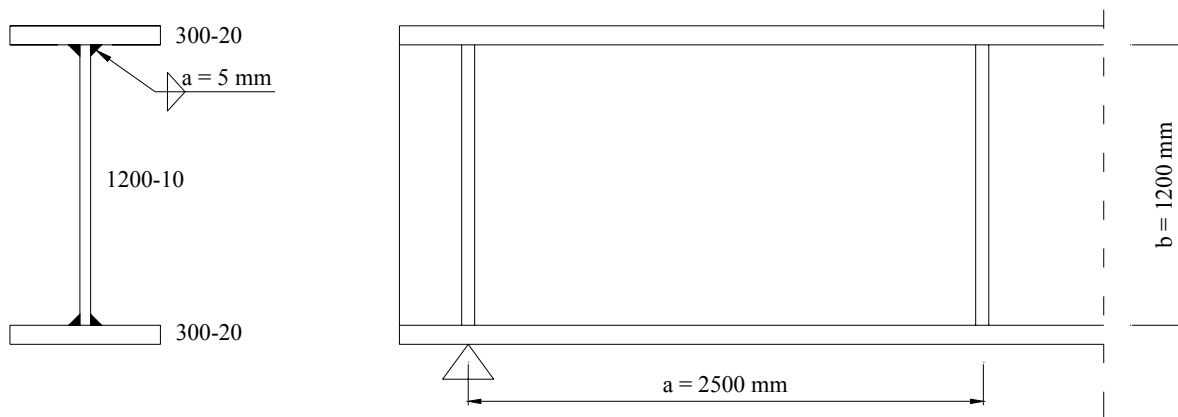
3.42. ábra: A merevítő borda teherbírási vizsgálatánál figyelembe veendő együttműködő gerinclemez-szélesség.

3.14 Példa

Ellenőrizzük az alábbi hegesztett szelvényből készült gerenda támasz melletti első mezőjében a gerinclemez nyírási horpadásra (a)! Vizsgáljuk meg a merevítőbordákat is (b)!

A nyíróerő $V_{Ed} = 1050 \text{ kN}$, a tartó anyaga S355-ös minőségű acél.

Alapanyag: S355 $\varepsilon = 0,81$



3.43. ábra: A szelvény keresztmetszete és a gerinclemez-mező méretei.

a) A gerinclemez ellenőrzése nyírási horpadásra:

A vizsgált mező nyírási horpadási tényezője:

$$\alpha = a/b = 2500/1200 = 2,08 > 1$$

ezért

$$k_{\tau} = 5,34 + 4/\alpha^2 = 5,34 + 4/2,08^2 = 6,262$$

A horpadási ellenőrzést el kell végezni, mivel merevített gerinclemez esetén

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1200}{10} = 120 > \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau}} = \frac{31}{1,2} \cdot 0,81 \cdot \sqrt{6,262} = 52,23$$

A gerinclemez horpadási karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau}}} = \frac{120}{37,4 \cdot 10 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{6,262}} = 1,587$$

A χ_v nyírási horpadási csökkentő tényező:

A csökkentő tényező értékének meghatározása során az övek hozzájárulását elhanyagoljuk ($\chi_f = 0$), így csak a gerinc hozzájárulását kell számításba vennünk:

$$\chi_v = \chi_w + \chi_f = \chi_w$$

Mivel a tartóvégen csak nem merev véglezárás van, és $\bar{\lambda}_w > 0,83/\eta = 0,692$

$$\chi_v = \chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,587} = 0,522$$

A gerinclemez ellenállása nyírási horpadással szemben:

$$V_{c,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,522 \cdot 35,5 \cdot 120 \cdot 1,0}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1211,50 \text{ kN}$$

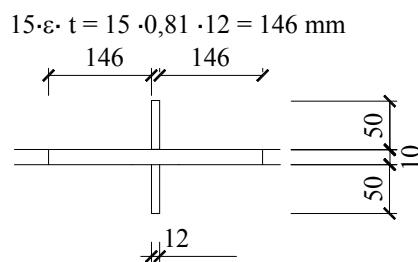
A gerinclemez ellenőrzése nyírási horpadásra:

A gerinclemez nyírási horpadással szemben kellő biztonsággal rendelkezik, mivel

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{1050}{1211,5} = 0,867 < 1,0$$

b) A merevítő bordák ellenőrzése

A gerenda gerincén mindkét oldalon 50-12 mm-es keresztirányú merevítő bordák találhatók a 3.44. ábra szerint.



3.44. ábra: A merevítőbordák szelvénye.

A merevítőbordák szükséges merevsége:

A mező méreteinek aránya:

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2500}{1200} = 2,08 > \sqrt{2}$$

tehát

$$I_{St} \geq 0,75 \cdot h_w \cdot t_w^3 = 0,75 \cdot 120 \cdot 1,0^3 = 90 \text{ cm}^4$$

A bordák inerciája a gerinclemez középvonalára számítva:

$$I_{St} = \frac{1,2 \cdot 11^3}{12} = 133,1 \text{ cm}^4 > 90 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{MEGFELEL!}$$

A keresztirányú merevítőbordák a merevségi feltételnek megfelelnek.

A bordákból valamint a gerinclemeznek a bordákhoz két oldalról csatlakozó $15 \cdot \varepsilon \cdot t$ hosszúságú szakaszaiból álló, a 3.42. ábrán látható szelvény kihajlását is ellenőrizni kellene – ettől azonban most eltekintünk.

3.3.6. Kölcsönhatások

Alapelvek

A 3.2.5 fejezetben láthattuk, hogy összetett igénybevételek esetén a keresztmetszetek ellenállásának számításakor mikor és hogyan kell figyelembe vennünk az egyes igénybevételek kölcsönhatását.

Természetesen amennyiben egy szerkezeti elem teherbírását nem (vagy nem csak) a keresztmetszet ellenállása, hanem stabilitásvesztés határozza meg, a kölcsönhatást ismét vizsgálni kell. Ez alapján a következő tönkremeneteli módok interakcióját kell ellenőrizni:

- szilárdsági tönkremeneteli módok (keresztmetszet ellenállása),
- globális stabilitásvesztési módok (kihajlás, kifordulás),
- lokális stabilitásvesztési módok (nyomott lemezelemek horpadása, nyírási lemezhorpadás).

Globális stabilitásvesztési módok egymással és szilárdsági tönkremenetellel való kölcsönhatása

Nyomásnak és hajlításnak kitett szerkezeti elem esetén a szilárdsági tönkremenetel kölcsönhatási összefüggései mellett vizsgálni kell a globális stabilitásvesztési módok (kifordulás és kihajlás) egymásra hatásait is.

Az Eurocode 3 szerinti általános eljárásban ezt elvégezhetjük megfelelő imperfekció figyelembevételével és másodrendű analízis végrehajtásával. Ennek bemutatásától most eltekintünk.

A szabvány egy egyszerűsített – de egyszerűnek koránt sem nevezhető – eljárást ad kétszeresen szimmetrikus, alaktartó keresztmetszetű tartók esetére. Ekkor a következő két feltétel teljesülését kell vizsgálni:

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

ahol

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ a ható igénybevételek tervezési értékei (normálerő, hajlítónyomaték az y és a z tengely körül);

$\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ 4. keresztmetszeti osztály esetén az effektív keresztmetszet súlyponteltolódásából származó nyomatéktöbbletek (lásd 3.14. táblázat);

N_{Rk} , $M_{y,Rk}$, $M_{z,Rk}$ a normálerő és a hajlítónyomatéki ellenállás karakterisztikus értékei (lásd 3.14. táblázat);

χ_y , χ_z , χ_{LT} a kihajláshoz és kiforduláshoz tartozó csökkentő tényezők, melyek számítását az előző fejezetek alapján hajthatjuk végre;

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} pedig az interakciós tényezők (lásd 3.15. -3.16. táblázat).

A fenti képletek egyszerre fejezik ki a kifordulás és kihajlás interakcióját, illetve a kihajlás – hajlítás vagy nyomás – kifordulás interakcióját.

<i>Krm. osztály</i>	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	$e_{N,z} N_{Ed}$

$$N_{Rk} = f_y A_i; \quad M_{y,Rk} = f_y W_y; \quad M_{z,Rk} = f_y W_z$$

3.14. táblázat: Keresztmetszeti ellenállások karakterisztikus értékei és nyomatóbblet.

Az interakciós tényezőkre kétféle alternatív számítást ajánl az Eurocode. Jelenleg a két eljárás bármelyike alkalmazható (későbbiekben az ún. Nemzeti Függelék – melyet minden egyes, az Eurocode-ot alkalmazó tagország el kell készítsen – előírhatja, hogy mely eljárás alkalmazandó). A továbbiakban most csak az egyszerűbb eljárást ismertetjük.

Eszerint különbséget kell tenni a szerkezeti elemek között az alapján, hogy

- csavarásra nem érzékeny szelvényű (csavarás ellen megtámasztott I-keresztmetszetek vagy cső illetve zárt szelvények, amelyekre tehát csak a síkbeli kihajlás lehet mértékadó) lásd 3.15 táblázat,
- csavarásra érzékeny (jellemzően a nyitott szelvényű elemek, ahol elcsavarodó kihajlás vagy kifordulás mértékadó lehet) 3.16 táblázat,

Interakciós tényező	Km. típusa	A keresztmetszet	
		3., 4. km-i osztályú	1., 2. km-i osztályú
k_{yy}	I vagy RHS	$\min \begin{cases} C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{cases}$	$\min \begin{cases} C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{cases}$
k_{yz}	I vagy RHS	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I vagy RHS	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I	$\min \begin{cases} C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{cases}$	$\min \begin{cases} C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{cases}$
	RHS		$\min \begin{cases} C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{cases}$

I-, H- és RHS szelvényeknél egyidejű nyomás és egytengelyű hajlítás esetén ($M_{y,Ed}$) felvehető $k_{zy} = 0$.

3.15. táblázat: Interakciós tényezők csavarásra nem érzékeny keresztmetszetek esetén.


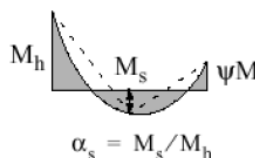
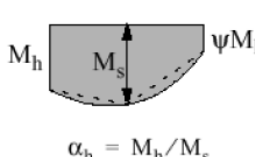
Csavarásra nem érzékeny keresztmetszetek esetén alkalmazandó interakciós tényezők számítását mutatja a 3.15. táblázat, míg a csavarásra érzékeny esetben a 3.16. táblázat szerint kell a számítását végrehajtani. Az interakció – hasonlóan a kifordulásvizsgálathoz – függ az igénybevételek rúd menti eloszlásától is. Ezt fejezik ki a C_{my} , C_{mz} , C_{mLT} paraméterek, melyek számítását a 3.17. táblázatban találjuk meg.

Interakciós tényező	A keresztmetszet	
	3., 4. km-i osztályú	1., 2. km-i osztályú
k_{yy}	lásd 3.15. táblázat	lásd 3.15. táblázat
k_{yz}	lásd 3.15. táblázat	lásd 3.15. táblázat
k_{zy}	$\max \left\{ \begin{array}{l} \left[1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right.$	$\bar{\lambda}_z \geq 0,4$ esetén: $\max \left\{ \begin{array}{l} \left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right.$ $\bar{\lambda}_z < 0,4$ esetén: $k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,6 + \bar{\lambda}_z \\ \left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right.$
k_{zz}	lásd 3.15. táblázat	lásd 3.15. táblázat

3.16. táblázat: Interakciós tényezők csavarásra érzékeny keresztmetszetek esetén.

Nyomott lemezelemek lemezhorpadásának hatása más tönkremeneteli módokra

A nyomott lemezelemek lemezhorpadásának egyéb tönkremeneteli módokra való hatását a keresztmetszet-osztályozáson és az effektív keresztmetszet számításán keresztül vesszük figyelembe. Az effektív keresztmetszet alapján számított nyomási és hajlítási keresztmetszeti ellenállások így önmagukban tartalmazzák a lemezhorpadás hatását. Emlékezzünk továbbá vissza, hogy a globális stabilitási vizsgálatok során pedig a karcsúságok számításának szintjén játszik szerepet a hatékony keresztmetszet. Így egyéb kölcsönhatási vizsgálatra nincs szükség.

Nyomatéki ábra	Tartomány		C_{my}, C_{mz}, C_{mLT}	
			megoszló terhelés	koncentrált terhelés
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1 + 2\psi)$	$0,90 - 0,10\alpha_h(1 + 2\psi)$
Természetesen az egyes, különböző irányokhoz tartozó tényezők meghatározásakor a megfelelő nyomatéki ábra megfelelő megtámasztások közötti szakaszát kell figyelembe venni, így:				
tényező	hajlítás tengelye	megtámasztások iránya		
C_{my}	y-y	z-z		
C_{mz}	z-z	y-y		
C_{mLT}	y-y	y-y		
Kilengő kihajlási mód esetén ($\nu > 1,0$) a megfelelő C_{my} és C_{mz} tényezőket 0,9-re kell felvenni.				

3.17. táblázat: A nyomatéki igénybevétel eloszlásától függő tényezők.

Nyírási horpadás kölcsönhatása más tönkremeneteli módokkal

Előzőleg bemutattuk a nyírás és a nyomaték (illetve a normálerő) kölcsönhatását a keresztmetszet ellenállásának számításakor (szilárdsági tönkremenetel). Ott abból a feltételezésből indultunk ki, hogy a vizsgált (gerinc)lemezben nyírási horpadás nem jön létre, azaz annak teljes képlékeny nyírási teherbírását figyelembe vehetjük.

Amennyiben a nyírási horpadás domináns (lásd 3.3.5 fejezet Alapelvek) a következő vizsgálatot kell végrehajtani (az egyes igénybevételekre való külön-külön ellenőrzés mellett).

Gerinclemez tartóknál a kölcsönhatást figyelembe kell venni amennyiben:

$$\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}} > 0,5 \text{ és } M_{Ed} > M_{f,Rd}$$

ahol

V_{Ed} a ható nyíróerő tervezési értéke;

M_{Ed} a ható nyomaték tervezési értéke;

$V_{bw,Rd}$ a gerinclemez nyírási ellenállása a nyírási horpadás figyelembevételével (lásd 3.3.5 fejezet);

$M_{f,Rd}$ a csak a hatékony övlemezből álló képzeltek keresztmetszet nyomatékú teherbírása (lásd 3.3.5 fejezet).

Ekkor a következő feltételnek kell eleget tenni:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right) (2\bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

ahol

$$\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}}$$

Vegyük észre, hogy ugyan más formába öntve, de a 3.2.5 fejezetben ismertetettel teljesen analóg eljárást kell végrehajtani itt is. Lényegi különbség, hogy a képlékeny nyírási ellenállás helyett a horpadás miatt csökkentett ellenállásból kell kiindulnunk.

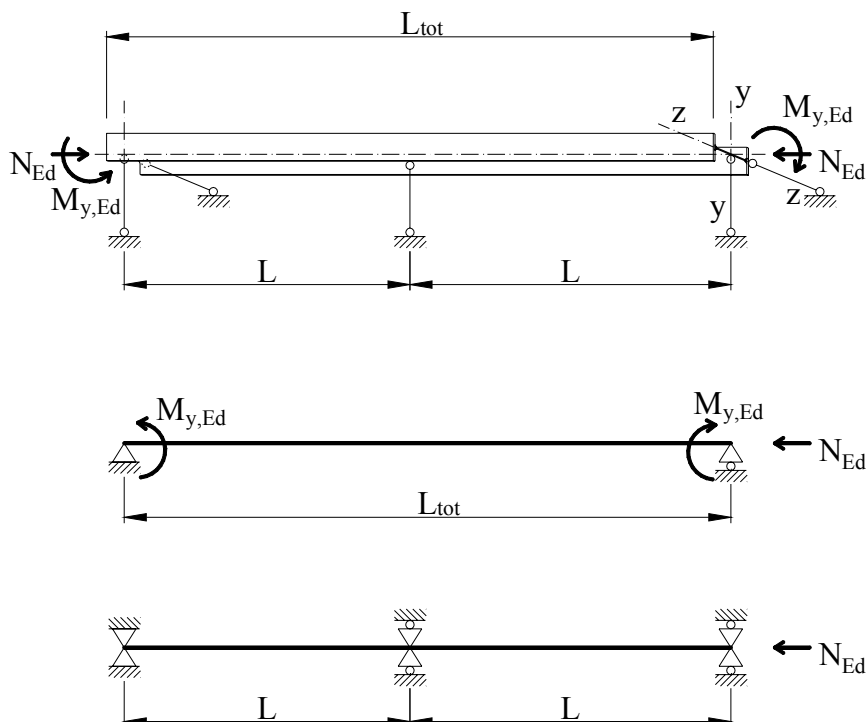
Amennyiben a nyíróerő és a nyomaték mellett normálerő is hat, a 3.2.5 fejezetben ismertetett mód szerint csökkentett nyomatékú ellenállások behelyettesítésével hajtjuk végre a fenti eljárást.

3.15 Példa

Ellenőrizzük az alábbi ábrán látható tartót kihajlásra, kifordulásra és azok interakciójára! A tartó szelvénye megegyezik a 3.6 példában szerepelt hegesztett szelvénnel.

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 1,0$ (lsd. 3.2. táblázat) $\lambda_1 = 93,9$

A tartó geometriája és mértékadó igénybevételei: (3.45. ábra)



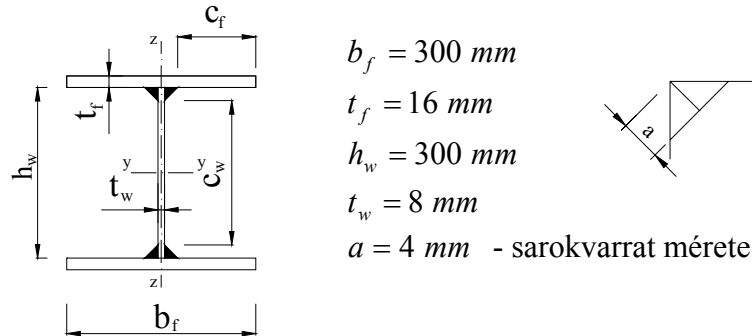
3.45. ábra: Tartó geometria.

A tartó teljes hossza $L_{tot} = 10 \text{ m}$, az oldalirányú megtámasztások távolsága $L = 5 \text{ m}$.

A mértékadó igénybevételek:

$$N_{Ed} = 700 \text{ kN}; \quad M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}$$

A szelvény geometriája: (3.46. ábra)



3.46. ábra: Szelvény geometria.

A keresztmetszeti jellemzők:

$$A = 120 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 25786 \text{ cm}^4; \quad W_y = 1553 \text{ cm}^3; \quad i_y = 146,6 \text{ mm}; \quad W_{pl,y} = 1697 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 7201 \text{ cm}^4; \quad W_z = 480 \text{ cm}^3; \quad i_z = 77,5 \text{ mm}; \quad W_{pl,z} = 725 \text{ cm}^3$$

$$I_w = \frac{I_z \cdot (h - t_f)^2}{4} = \frac{7201 \cdot (30 + 2 \cdot 1,6 - 1,6)^2}{4} = 1797727,5 \text{ cm}^6$$

$$I_t = \frac{1}{3} \sum b_i t_i^3 = \frac{1}{3} (2 \cdot 30 \cdot 1,6^3 + 30 \cdot 0,8^3) = 87,0 \text{ cm}^4$$

A keresztmetszet osztályozása:

Lsd. 3.6 példa: a keresztmetszet 1. osztályba sorolandó mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra.

A keresztmetszet ellenállásának ellenőrzése:

A keresztmetszet ellenállásait a 3.6 példában számítottuk.

Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 2820,0 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN}, \text{ megfelel.}$$

Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = 398,8 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}, \text{ megfelel.}$$

Ellenőrzés nyomás és hajlítás interakciójára:

$$M_{N,Rd} = 333 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}, \text{ megfelel.}$$

A tartó kihajlási vizsgálata

A kihajlási hosszak a két irányban:

$$l_y = L_{tot} = 1000 \text{ cm}$$

$$l_z = L = 500 \text{ cm}$$

A rúdkarcsúságok és a viszonyított rúdkarcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{1000}{14,66} = 68,22 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{68,22}{93,9} = 0,726$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{500}{7,75} = 64,54 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{64,54}{93,9} = 0,687$$

Hegesztett I-szelvény és $t_f \leq 40 \text{ mm}$ esetén:

- az y-y tengely körüli kihajlás esetén a **b** kihajlási görbét,
- míg a z-z tengely körüli kihajlás esetén a **c** kihajlási görbét kell használni.

Ez alapján táblázatból a kihajlási csökkentő tényezők:

$$\chi_y = 0,769 \text{ és } \chi_z = 0,733.$$

Látható, hogy a z tengely körüli kihajlás a mértékadó. Innen a nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,733 \cdot \frac{120 \cdot 23,5}{1,0} = 2065,8 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN}, \text{ tehát kihajlásra megfelel.}$$

A tartó kifordulási vizsgálata

Az oldalirányú megtámasztások távolsága $l = L = 500 \text{ cm}$.

A kifordulási kritikus nyomaték képlete:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

ahol:

$$l = 500 \text{ cm} \quad k = k_w = 1,0 \text{ (mindkét vég szabadon elfordul és torzul)}$$

$$z_g = 0 \text{ cm} \quad (\text{a teher a szelvény súlypontjában})$$

$$z_j = 0 \quad (\text{kétszeresen szimmetrikus profil})$$

$$\psi = 1 \quad (\text{a vizsgált szakasz két végén a nyomaték értéke megegyezik})$$

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad G = 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$C_1 = 1,0; C_2 = 0; C_3 = 1,0 \quad (\text{lsd. 3.10. táblázat})$$

Behelyettesítve:

$$M_{cr} = 1,0 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7201}{500^2} \left[\sqrt{\frac{1797727,5}{7201} + \frac{500^2 \cdot 8077 \cdot 87}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7201}} \right] = 1144,3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} = \frac{180}{1144,3} = 0,157 > 0,04, \text{ tehát vizsgálni kell a kifordulást.}$$

A kifordulási viszonyított karcsúság:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1697 \cdot 23,5}{114430}} = 0,59 > 0,2, \text{ tehát vizsgálni kell a kifordulást.}$$

Hegesztett I-szelvény és $h/b_f = 33,2/30 = 1,107 \leq 2$ esetén a **c** kihajlási görbét kell alkalmazni. Táblázatból a csökkentő tényező:

$$\chi_{LT} = 0,791$$

Innen a tartó kifordulási ellenállása:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0,791 \cdot \frac{1697 \cdot 23,5}{1,0} = 315,5 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}, \text{ megfelel.}$$

A kihasználtság:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{180}{315,5} = 0,57$$

A kihajlás és kifordulás interakciója

A következő feltételeknek kell eleget tenni:

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

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

A szelvény ellenállásainak karakterisztikus értéke 1. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{Rk} = f_y A = 23,5 \cdot 120 = 2820 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y W_{pl,y} = 23,5 \cdot 1697 = 398,8 \text{ kNm}$$

1-3. keresztmetszeti osztály esetén a nyomatéknövekmény zérus:

$$\Delta M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

Az interakciós tényezők meghatározására alkalmazzuk a 3.16. és 3.17. táblázatban megadott eljárást! Közvetlenül nem terhelt tartó esetében a tényezők a következőképpen alakulnak:

$\psi = 1$ (a vizsgált szakasz két végén a nyomaték értéke megegyezik)

$$C_{my} = C_{mLi} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 = 1,0 > 0,4$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,0 \left(1 + (0,726 - 0,2) \frac{700}{0,769 \cdot 2820 / 1,0} \right) = 1,17 \\ 1 \left(1 + 0,8 \frac{700}{0,769 \cdot 2820 / 1,0} \right) = 1,25 \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = 1,17$$

Ha $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$, akkor:

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} \left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLt} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \\ \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLt} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} \left[1 - \frac{0,1 \cdot 0,687}{(1,0 - 0,25)} \frac{700}{0,733 \cdot 2820 / 1,0} \right] = 0,969 \\ \left[1 - \frac{0,1}{(1,0 - 0,25)} \frac{700}{0,733 \cdot 2820 / 1,0} \right] = 0,955 \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = 0,969$$

Az interakciós ellenőrzések pedig:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{700}{0,769 \cdot \frac{2820}{1,0}} + 1,17 \cdot \frac{180}{0,791 \cdot \frac{398,8}{1,0}} = 0,991 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{700}{0,733 \cdot \frac{2820}{1,0}} + 0,969 \cdot \frac{180}{0,791 \cdot \frac{398,8}{1,0}} = 0,892 \leq 1$$

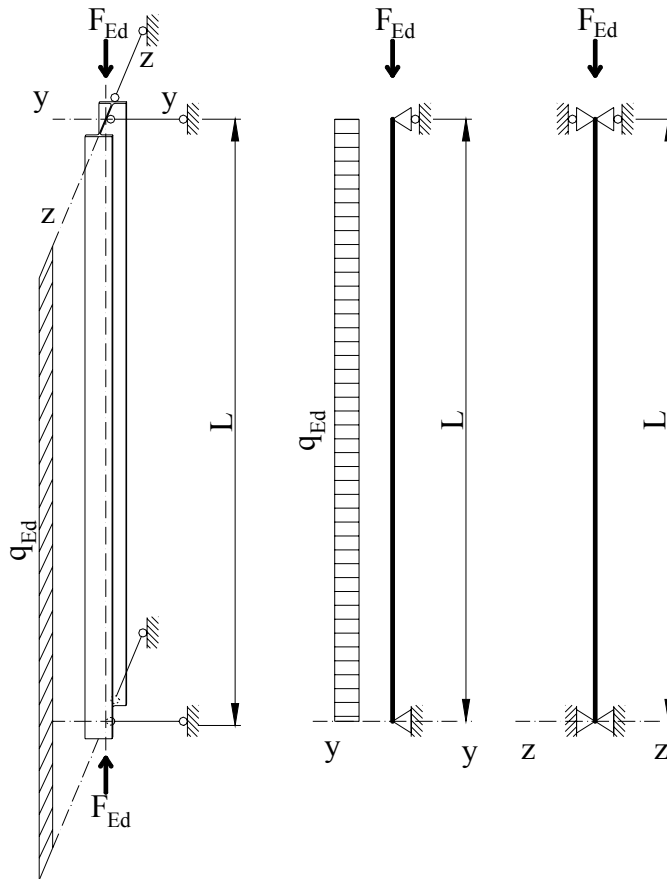
tehát az interakcióra is megfelel.

3.16 Példa

Ellenőrizzük az alábbi ábrán látható falvázartót kihajlásra, kifordulásra és azok interakciójára! A tartó szelvénye megegyezik a 3.7 példában szerepelt hengerelt szelvényvel. A tartóra az ábra szerinti $q_{Ed} = 6 \text{ kN/m}$ megoszló és normálirányú $F_{Ed} = 450 \text{ kN}$ koncentrált erő hat.

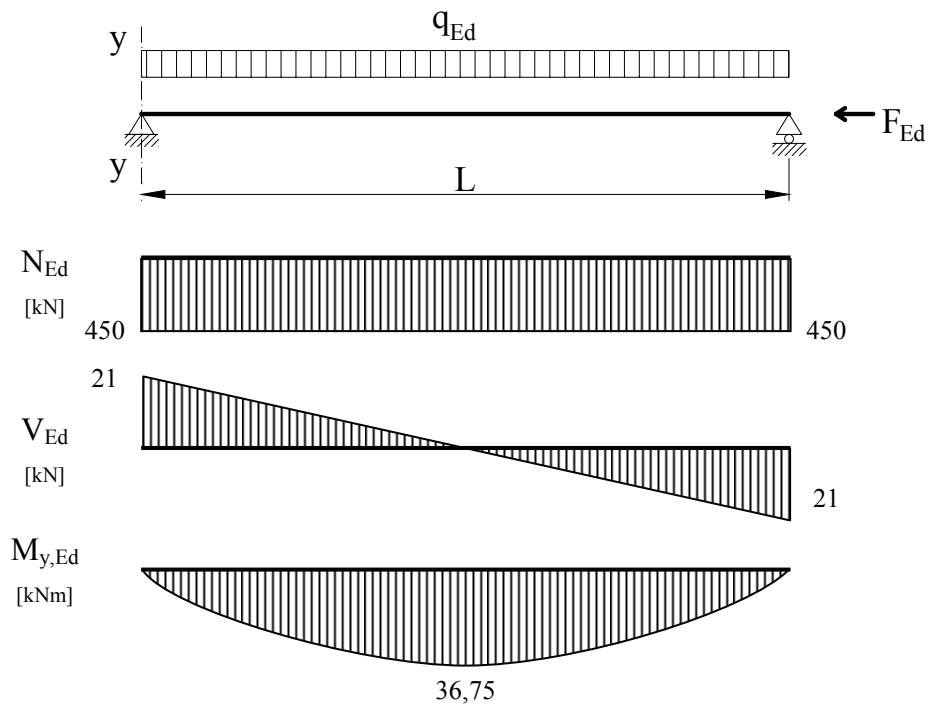
Alapanyag: S275 $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 0,924$ (lsd. 3.2. táblázat) $\lambda_1 = 86,82$

A tartó geometriája és mértékadó igénybevételei: (3.47. ábra)



3.47. ábra: Tartó geometria.

A tartó teljes hossza $L = 7 \text{ m}$, oldalirányú megtámasztás csak a tartóvégeken van. Az igénybevételek eloszlását mutatja az alábbi ábra.



3.48. ábra: Igénybevételek eloszlása.

A mértékadó igénybevételek:

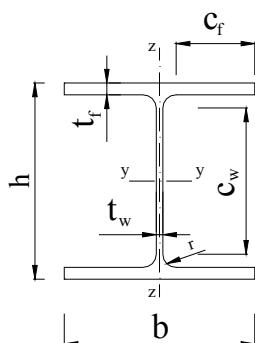
- maximális normálerő és nyomaték, egyidejű nyíróerő:

$$N_{Ed} = 450 \text{ kN}; \quad M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm}; \quad V_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

- maximális nyíróerő:

$$V_{Ed} = 21 \text{ kN}; \quad N_{Ed} = 450 \text{ kN}; \quad M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

Keresztmetszeti adatok: HEB 200 (táblázatból)



$$b = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 15 \text{ mm}$$

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$t_w = 9 \text{ mm}$$

$$r = 18 \text{ mm}$$

$$A = 78,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} = 24,83 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5696 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2003 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 171130 \text{ cm}^6$$

$$W_y = 569,6 \text{ cm}^3$$

$$W_z = 200,3 \text{ cm}^3$$

$$I_t = 59,28 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 8,54 \text{ cm}$$

$$i_z = 5,07 \text{ cm}$$

$$W_{pl,y} = 643 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 305,8 \text{ cm}^3$$

3.49. ábra: Szelvény geometria.

A keresztmetszet osztályozása:

Lsd. 3.7 példa: a keresztmetszet 1. osztályba sorolandó mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra.

A keresztmetszet ellenállásának ellenőrzése:

A keresztmetszet ellenállásait a 3.7 példában számítottuk.

Ellenőrzés nyomásra:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 2147 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN}, \text{ megfelel.}$$

Ellenőrzés hajlításra (középső keresztmetszetben):

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = 176,7 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm}, \text{ megfelel.}$$

Ellenőrzés nyírásra (támasznál):

Nyírási horpadással nem kell számolni, így

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 394,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 21 \text{ kN}, \text{ megfelel.}$$

Ellenőrzés nyomás, hajlítás és nyírás interakciójára:

A tartó minden keresztmetszetére $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} < 0,5$, tehát nyíróerő miatti redukciónak sehol sem kell

alkalmazni. A továbbiakban elegendő a középső – mértékadó – keresztmetszetet vizsgálni hajlítás és nyomás interakciójára:

$$0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2147 = 537 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN}$$

$$\frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 17 \cdot 9 \cdot 27,5}{1,0} = 210,4 \text{ kN} < N_{Ed} = 450 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{450}{2147} = 0,21$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{78,1 - 2 \cdot 20 \cdot 1,5}{78,1} = 0,232 < 0,5$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 176,7 \frac{1-0,21}{1-0,5 \cdot 0,232} = 158,0 \text{ kNm}$$

$$M_{N,Rd} = 158,0 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm}, \text{ megfelel.}$$

A tartó kihajlási vizsgálata

A kihajlási hosszak a két irányban:

$$l_y = l_z = L = 700 \text{ cm}$$

A rúdkarcsúságok és a viszonyított rúdkarcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{700}{8,54} = 81,97 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{81,97}{86,82} = 0,944$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{700}{5,07} = 138,07 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{138,07}{86,82} = 1,59$$

Hengerelt I-szelvénynél $h/b_f \leq 1,2$ és $t_f \leq 100 \text{ mm}$ esetén:

- az y-y tengely körüli kihajlás esetén a **b** kihajlási görbét,
- míg a z-z tengely körüli kihajlás esetén a **c** kihajlási görbét kell használni.

Ez alapján táblázatból a kihajlási csökkentő tényezők:

$$\chi_y = 0,633 \text{ és } \chi_z = 0,287.$$

Látható, hogy a z tengely körüli kihajlás a mértékadó. Innen a nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,287 \cdot \frac{78,1 \cdot 27,5}{1,0} = 616,2 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN}, \text{ tehát kihajlásra}$$

megfelel.

A tartó kifordulási vizsgálata

Az oldalirányú megtámasztások távolsága $l = L = 700 \text{ cm}$.

A kifordulási kritikus nyomaték képlete:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

ahol:

$$k = k_w = 1,0 \quad (\text{mindkét vég szabadon elfordul és torzul})$$

$$z_g = h/2 = +10 \text{ cm} \quad (\text{a teher a felső övön hat})$$

$$z_j = 0 \quad (\text{kétszeresen szimmetrikus profil})$$

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad G = 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$C_1 = 1,132; C_2 = 0,459; C_3 = 0,525 \quad (\text{lsd. 3.11. táblázat})$$

Behelyettesítve:

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2003}{700^2} \left[\sqrt{\frac{171130}{2003} + \frac{700^2 \cdot 8077 \cdot 59,28}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2003} + (0,459 \cdot 10)^2} - 0,459 \cdot 10 \right] =$$

$$= 204,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} = \frac{36,75}{204,5} = 0,18 > 0,04, \text{ tehát vizsgálni kell a kifordulást.}$$

A kifordulási viszonyított karcsúság:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{643 \cdot 27,5}{20450}} = 0,929 > 0,2, \text{ tehát vizsgálni kell a kifordulást.}$$

Hengerelt I-szelvény és $h/b_f = 20/20 = 1,0 \leq 2$ esetén az **a** kihajlási görbét kell alkalmazni.

Táblázatból a csökkentő tényező:

$$\chi_{LT} = 0,714$$

Innen a tartó kifordulási ellenállása:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0,714 \cdot \frac{643 \cdot 27,5}{1,0} = 126,2 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm}, \text{ megfelel.}$$

A kihasználtság:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{36,75}{126,2} = 0,29$$

A kihajlás és kifordulás interakciója

A szelvény ellenállásainak karakterisztikus értéke 1. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{Rk} = f_y A = 27,5 \cdot 78,1 = 2147 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y W_{pl,y} = 27,5 \cdot 643 = 176,7 \text{ kNm}$$

1-3. keresztmetszeti osztály esetén a nyomaték-növekmény zérus:

$$\Delta M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

Az interakciós tényezők meghatározására alkalmazzuk az EC3 szabvány B függelékében megadott eljárást! Közvetlenül terhelt tartó esetében a tényezők a következőképpen alakulnak (3.16 és 3.17 táblázat):

$$M_h = 0 \text{ kNm}; \quad M_s = M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm} \quad (\text{a vizsgált szakasz végén és közepén a nyomatékok értéke})$$

$$\psi = 1 \quad (\text{a vizsgált szakasz két végén a nyomaték értéke megegyezik = 0})$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{36,75} = 0 \text{ (a vizsgált szakasz két végén a nyomaték értéke megegyezik = 0)}$$

$$C_{my} = C_{mLl} = 0,95 + 0,05\alpha_h = 0,95 > 0,4 \text{ (megoszló teher és a fenti tényezők esetén)}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \left(1 + (0,944 - 0,2) \frac{450}{0,633 \cdot 2147 / 1,0} \right) = 1,184 \\ 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{450}{0,633 \cdot 2147 / 1,0} \right) = 1,202 \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = 1,184$$

Ha $\bar{\lambda}_z = 1,59 \geq 0,4$, tehát:

$$k_{zy} = \max \left\{ \left[1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLl} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \right. \\ \left. \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLl} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \right.$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \left[1 - \frac{0,1 \cdot 1,59}{(0,95 - 0,25)} \frac{450}{0,287 \cdot 2147 / 1,0} \right] = 0,834 \right. \\ \left. \left[1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \frac{450}{0,287 \cdot 2147 / 1,0} \right] = 0,896 \right.$$

Az interakciós ellenőrzések pedig:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{450}{0,633 \cdot \frac{2147}{1,0}} + 1,184 \cdot \frac{36,75}{0,714 \cdot \frac{176,7}{1,0}} = 0,676 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{450}{0,287 \cdot \frac{2147}{1,0}} + 0,896 \cdot \frac{36,75}{0,714 \cdot \frac{176,7}{1,0}} = 0,991 \leq 1$$

tehát az interakcióra is megfelel.

4. Szerkezeti kapcsolatok méretezése

4.1. Kapcsolatok kialakítása és méretezési elvei

4.1.1. Kapcsolatok kialakítása, osztályozása

Funkció szempontjából az acélszerkezetek kapcsolatai között szokás beszélni *illesztésről*, amely jelentős iránytörés nélküli kapcsolatot, lényegében tehát toldást jelent, esetleges szelvényváltással; *bekötésről*, amely a húzott vagy nyomott rudak (jellemzően rácsos tartók rúdjai) végén lévő kapcsolatokat jelenti, amelyekkel a szomszédos szerkezeti elemekhez kapcsolódnak; szűkebb értelemben vett *kapcsolatról*, amely az összes többi lehetőséget magában foglalja (iránytöréses kapcsolatok: például oszlop–gerenda kapcsolat, oszlop–alaptest kapcsolat stb.).

Az acélszerkezetek kapcsolatait kialakítás szempontjából két nagy csoportba szokás sorolni. A *hegesztett kapcsolatokban* az igénybevételek átadása elsődlegesen hegesztési varratokon keresztül történik, míg a *mechanikus kapcsolatokban* elsődlegesen mechanikus kötőelemekkel. Ez utóbbiak leggyakrabban használt megjelenési formája a *csavarozott kapcsolat*, de – különösen régebbi szerkezetekben – gyakran találkozunk *szegecselt kapcsolatokkal* is. E jegyzetben a hegesztett és a csavarozott kapcsolatokra vonatkozó tudnivalókat tekintjük át.

A kapcsolatok a hegesztési varratok, illetőleg a mechanikus kötőelemek mellett gyakran tartalmaznak még egyéb alkotóelemeket, amelyek leggyakrabban lemezek, ritkábban idomacél-darabok vagy más elemek. E kiegészítő elemeket funkciójuk és erőjüketek alapján különbözőképpen nevezzük, így különösen beszélünk *hevederlemezekről*, *átkötőlemezekről*, *homloklemezekről*, *csomólemezekről* és *béléslemezekről*, *hevederként használt idomacélról*, *övbekötő szögacélról* stb.

A *hevederlemez* olyan lemezelemet jelent, amelynek elsődleges célja az anyagi folytonosság biztosítása lehetőleg oly módon, hogy a hevederlemezben azonos jellegű feszültségek keletkezzenek, mint a kapcsolni kívánt szerkezeti elemekben (így a húzott rudak illesztésében használt hevederlemezek is húzottak, a hajlított elemek illesztésében használt hevederlemezek hajlítottak stb., azonban sohasem hajlítottak a saját síkjukra merőlegesen). A hevederlemez mindig két, azonos jellegű (de esetleg enyhén eltérő méretekkkel rendelkező) szerkezeti elem iránytörés nélküli összekapcsolását valósítja meg. Ha a hevederlemez csavarozott kapcsolatban fordul elő, akkor a csavarokban mindig nyírási igénybevétel lép fel.

Az *átkötő-* vagy *bekötőlemez* a hevederlemezhez hasonló erőjátékú lemez, amely azonban jellemzően iránytöréses kapcsolatokban használatos. Csavarozott kapcsolat esetén a csavarok ilyenkor is nyírtak.

A *homloklemez* egy idomacél végére, az idomacél tengelyére merőlegesen vagy közel merőlegesen felhegesztett lemezt jelent, amely aztán általában csavarokkal egy másik szerkezeti elem sík felületéhez (például I szelvény övlemezéhez) kapcsolódik. A homloklemez jellemzően saját síkjára merőleges irányú hajlítást kap igénybevételeként, és a kapcsoló csavarok jellemzően húzottak. A homloklemez különleges megjelenési formája az oszlopok alsó végén alkalmazott, a beton alaptesttel való kapcsolatot biztosító *talplemez*.

A *csomólemez* a rácsos tartókban, illetve rácsos tartóként működő rácsosításokban előforduló lemezelem, amelynek feladata a különböző irányból érkező rudak összekapcsolása. Mindig valamelyik szerkezeti elemre előzetesen felhegesztik, majd a bekötött rúdhoz csavarozással vagy hegesztési varrattal kapcsolják. Terv szerint mindig saját síkjában kap igénybevételelt.

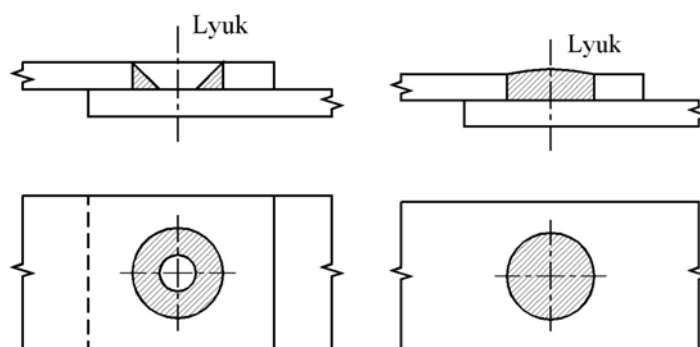
A *béléslemez* olyan lemez, amelyet elsősorban helykitöltés céljából alkalmazunk. Statikai funkciója nincs, csupán azt biztosítja, hogy a vele párhuzamosan elhelyezkedő, összekapcsolandó lemezek kellő távolságban maradjanak egymástól. Felhasználásukra példa, amikor különböző vastagságú lemezeket toldunk, és a vastagságkülönbséget béléslemezzel hidalgatjuk át.

Ami a hegesztési varratokat illeti, az Eurocode 3 ötféle varratot különböztet meg: a *sarokvarratot*, a *tompavarratot*, a *telivarratot*, a *lyukperemvarratot* és a *horonyvarratot*.

Leggyakrabban az első két kategória fordul elő. A *sarokvarrat* két egymásra merőleges (de legalábbis 60 és 120 fok közötti szögben hajló) felület összekapcsolására szolgál, a *tompavarrat* pedig egy lemez vastagsága mentén kialakított hegesztési varratot jelent. A különböző varratformákról és elnevezésekről szép összefoglalást találunk a [1]-ben 145-147.o. Kiegészítésképpen annyit érdemes megjegyezni, hogy a sarokvarrat készülhet *szakaszos sarokvarrat* formájában is; a tompavarrat pedig – attól függően, hogy a varrat a kapcsolt lemez teljes vastagságára kiterjed-e vagy sem – készülhet *teljes beolvadású* vagy *részleges beolvadású* tompavarratként.

A *telivarrat* (4.1. ábra) olyan varratot jelent, amellyel két, egymással párhuzamosan elhelyezkedő és egymásra felfekvő lemezt oly módon kapcsolunk össze, hogy az egyik lemezben elkészített, kb. csavarlyuk méretű furatot teljes egészében kitöltünk heganyaggal. Ilyen varratot nem szabad alkalmazni a lemezek síkjára merőleges húzóerő továbbítására (tehát húzott csavar helyett); alkalmazható azonban a lemez síkjára működő erők átadására, illetőleg a lemezek szétválásának megakadályozására (amely adott esetben korrózióvédelmi szempontból vagy – nyomott és/vagy nyírt lemezek esetén – a lemezhorpadás megakadályozása érdekében lehet fontos).

A *lyukperemvarrat* (4.1. ábra) a telivarrathoz hasonlít, csupán annyi az eltérés, hogy a furatot nem teljes egészében töltjük ki heganyaggal, hanem a furat alsó peremén készítünk körbemenő sarokvarratot (ebből következik, hogy általában nagyobb furat szükséges, mint telivarrat esetén).



4.1. ábra: Lyukperemvarrat és telivarrat.

A *horonyvarrat* azt a két hosszanti varratot jelenti, amelyeket a sík lemezre felfektetett, kör keresztmetszetű tömör szelvény és a lemez között lehet kialakítani.

4.1.2. Kapcsolatok méretezési elvei

Ebben a fejezetben a továbbiakban áttekintjük, hogy hogyan kell az egyszerű kialakítású, hegesztett és csavarozott kapcsolatokat az Eurocode 3 előírásai alapján méretezni. Külön kiemelés érdemel, hogy az itt megadott képletek csak statikus terhelés esetén érvényesek (tehát a dinamikus terheket és a fárasztóterhelést kizárjuk).

A kapcsolatok méretezésében az Eurocode újfajta szemléletmódot kíván bevezetni, amely azonban nem feltétlenül jelenti, hogy a tradicionális szemléletmódot el kell vetni. Mielőtt az egyszerű kötések méretezésének részletkérdéseit áttekintenénk, talán érdemes pár szóban összefoglalni a kétféle megközelítésmód közötti különbséget.

A tradicionális megközelítésmód különválasztja a teljes szerkezet (azaz a tartószerkezeti elemek: oszlopok, gerendák stb.), illetőleg a kapcsolatok méretezését, olyannyira, hogy egyes országokban a két tervezési lépés fizikailag is különvlik, amennyiben a kapcsolatokat a kivitelező vállalat tervezi meg. Tehát először meg kell tervezni az adott tartószerkezetet, majd pedig annak kapcsolatait – vagy „mértékadó igénybevételekre”, magyarul azokra a belső erőkre és nyomatékokra, amelyek a tartószerkezet statikai számításából kiadódnak, vagy pedig „határ-igénybevételre”, azaz akkora belső erőkre és nyomatékokra, amekkorát a kapcsolt szerkezeti elemek képesek felvenni.

Ebben a megközelítésmódban a kapcsolatok tervezése során tulajdonképpen kétféle kérdést kell megválaszolni:

- hogyan lehet a tervezési (mértékadó vagy határ) igénybevételből kiszámolni az egyes kötőelemekre, illetőleg a kapcsolat egyes alkotóelemeire (pl. alkotó lemezekre) jutó erőket;
- hogyan kell ezek után ezeket a kötőelemeket és alkotóelemeket ellenőrizni a meghatározott igénybevételekre.

Az újabb megközelítésmód az előzővel szemben nem választja külön a kétféle kérdést, hanem azokat egységesen kezeli. Másik jellegzetessége, hogy az idealizált (folytonosságot biztosító vagy teljes folytonossági hiányt előidéző) viselkedésű kapcsolatok mellett lehetőség nyílik a közbenső viselkedésű kapcsolatok alkalmazására, aminek elsősorban az az előnye, hogy a „széles választékból” kiválasztható a gazdaságos megoldás.

Sematikusán és leegyszerűsítve a tervezési folyamat ekkor a következő lépésekből áll:

1. Első lépésben valamilyen szempont alapján el kell dönteni, milyen kapcsolattípust választunk. A döntés alapja általában nem elsősorban statikai, hanem gazdaságossági és elkészíthetőségi (gyárthatósági, szerelhetőségi stb.) szempontok együttese lehet.
2. A kiválasztott kapcsolattípus alapján valamilyen előtervezést kell végezni a szerkezetre, amelynek eredménye egy közelítés a szerkezetben szereplő szelvényekre és valamiféle közelítés a kapcsolatok úgynevezett mechanikai jellemzőire: merevségére és szilárdságára.
3. A kapcsolat közelítő mechanikai jellemzői (merevsége és szilárdsága) alapján pontosíthatók a szerkezeti elemek, majd a pontosított szerkezeti elemekkel a kapcsolatok részletesebb vizsgálata végezhető el: megtervezhető a végleges, részletes kialakítás, és pontosíthatók a mechanikai jellemzők.
4. Ez a részletes vizsgálat az esetek legtöbbszörében igazolja a közelítő mechanikai jellemzők használatának jogosságát, de ha mégsem, akkor vissza kell térni a 3. lépésre.

A tervezési folyamat fő jellegzetessége tehát, hogy a tartószerkezet tervezése és a kapcsolatok tervezése párhuzamosan folyik, és mindkettő kihat a másikra. A kapcsolatok vonatkozásában a következő kérdéseket kell megválaszolni:

- ki kell tudni választani azt a kapcsolati kialakítást, amely gazdaságos és szerelhető;
- ennek meg kell tudni határozni közelítő mechanikai jellemzőit;

- majd a részlettervezés során meg kell tudni állapítani a kapcsolat mechanikai jellemzőit, most már megbízhatóan korrekt értékkel.

Mint a tervezési folyamatból látszik, ez utóbbi megközelítésmód alapvetően bonyolultabb, a teljes szerkezet viselkedésével jelentős kölcsönhatásban lévő kapcsolatok, elsősorban nyomaték átadására tervezett kapcsolatok esetén releváns. Más kapcsolatok esetén, de sokszor e kiemelt jelentőségű kapcsolatoknál is, a „tradicionalis” megközelítésmód szerint célszerű eljárni. Ebből következik, hogy az „újabb” megközelítésmód nem fogja – nem is ez a célja – kiszorítani a régi módszert, csupán a kapcsolatok egy meghatározott körében kínál bizonyos szempontból potenciálisan előnyösebb alternatívát.

Ebben a fejezetben elsősorban a tradicionális megközelítésmód kapcsán feltett második kérdésre adjuk meg a választ. Mielőtt ebbe belefognánk, pár szóban vázoljuk fel az első kérdésre adandó választ.

Ami tehát azt a kérdést illeti, hogy hogyan kell a tervezési igénybevételekből meghatározni az egyes kapcsolati alkotóelemekre jutó erőket (vagy másképpen, hogyan kell *szétosztani* a külső erőket a kapcsolati alkotóelemek között), általánosságban elmondható, hogy négyféle feltételt kell szem előtt tartani:

- az *egyensúlyi* feltételt: a külső igénybevételek és a kötőelemekben feltételezett belső erők legyenek egyensúlyban;
- a *kompatibilitási* feltételt: a belső erőkhöz tartozó alakváltozások legyenek önmagukban következetesek és valamilyen anyagtörvény révén tartozzanak valamilyen globális elmozdulásmezőhöz;
- a *szilárdsági* feltételt: a kötőelemekben feltételezett belső erők ne haladják meg a kötőelem teherbírását;
- a *duktilitási* feltételt: a kötőelemekben feltételezett alakváltozások ne haladják meg a kötőelem alakváltozási képességét.

Az előzőekben felsorolt négy feltétel közül háromnak: az egyensúlyi, a szilárdsági és a duktilitási feltételnek mindig kötelező a betartása. Annak alapján, hogy a maradék kompatibilitási feltételt betartjuk-e, és ha igen, miképpen, meg szokás különböztetni a következő méretezési eljárásokat:

- *rugalmas* eljárás, amelynek során betartjuk a kompatibilitási feltételt, és a kötőelemekben az alakváltozások és a belső erők között lineáris (rugalmas) összefüggést tételezünk fel;
- „*realis*” *képlékeny* eljárás, amelynek során ugyancsak betartjuk a kompatibilitási feltételt, de a kötőelemekben az alakváltozások és a belső erők között nemlineáris (például rugalmas–képlékeny) összefüggést tételezünk fel;
- „*egyszerűsített*” *képlékeny* eljárás, amelynek során nem tartjuk be a kompatibilitási feltételt.

Ez utóbbi eset gyakran fordul elő, különösen hegesztési varratok méretezésekor, és igen gyakran szolgáltat olyan eredményeket, amelyek alapján az adott kapcsolat megbízhatóan méretezhető. Ne feledjük azonban, hogy a duktilitási feltételt (tehát a szükséges alakváltozások elérhető voltát) ekkor is be kell tartani!

Nem szabad azonban a rugalmas erőeloszlás elvétől eltérni akkor,

- ha úgynevezett C típusú (teherbírési határállapotban megcsúszásnak ellenálló, lsd. a 4.2.1. fejezet) csavarokat tervezünk;
- ha normál csavarok esetén (A vagy B típus) a csavar nyírási ellenállása nem haladja meg palástnyomási ellenállását ($F_{v,Rd} \leq F_{b,Rd}$).

Tekintettel az előzőekben összefoglalt elvekre, hegesztési varratok és csavarok között általában nem szabad ugyanazt az erőt megosztani (kivétel az úgynevezett hibrid kapcsolat, azaz a hegesztési varrat és a megcsúszásnak ellenálló csavarkötés együttese). Ez természetesen nem

jelenti azt, hogy egy kapcsolatban vagy csak hegesztési varrat, vagy csak csavar szerepelhet – más-más erő továbbítására, illetve ugyanazon erő más-más alkotóelemek közötti továbbítására alkalmazható varrat, illetve csavar. Klasszikus példa a helyes alkalmazásra a homloklemezcsavarozott oszlop–gerenda kapcsolat, amelyben a gerendáról a homloklemezre a hegesztési varrat, a homloklemeztől az oszlopra a csavarok közvetítik mind a nyírőerőt, mind pedig a hajlítónyomatékot.

4.2. Csavarozott kapcsolatok ellenállása

4.2.1. Csavarozott kötések méretezési elvei

A csavarozott kötések osztályai

A csavarozott kötések a bennük szereplő csavarok erőjátékának megfelelően az Eurocode 3 öt osztályba sorolja (A-tól E-ig). Az acélszerkezetek csavarozott kapcsolataiban a csavarokat vagy nyíróerő, vagy húzóerő, vagy e kettő kombinációja terheli; emellett a csavarok erőjátékára hatással van, hogy a csavar feszített-e vagy sem.

A nyírt csavaroknak három osztályát különböztetjük meg:

- az A osztályú csavar nem feszített, ennek megfelelően az erőátadás nyírás és palástnyomás révén valósul meg;
- a B osztályú csavar feszített, ezért az erőátadás az összeszorított felületek közötti súrlódás révén valósul meg, de csak a használhatósági határállapotban, míg a teherbírési határállapotban a csavar nem feszítettként viselkedik, és az erőt nyírás és palástnyomás révén adja át.
- a C osztályú csavar feszített, és az erőátadás mind a használhatósági, mind pedig a teherbírési határállapotban az összeszorított felületek közötti súrlódás révén valósul meg.

Megjegyzendő, hogy az Eurocode a B osztályú csavarokat „használhatósági határállapotban megcsúszásnak ellenállónak”, a C osztályú csavarokat pedig „teherbírési határállapotban megcsúszásnak ellenállónak” nevezi. A súrlódás révén történő erőátadás nyilván feltételezi, hogy az összeszorított felületek ne csússzanak el egymáson (míg a nem feszített csavar működéséhez a megcsúszás elengedhetetlen). A B és a C osztályú csavar esetén gondoskodni kell a súrlódó felületek alkalmas előkészítéséről.

A húzott csavaroknak a következő két osztályát különbözteti meg a szabvány:

- a D osztályú csavarok nem feszítettek;
- az E osztályú csavarok feszítettek.

Az erőátadás mindkét esetben egyaránt a csavar húzása révén valósul meg. Feszített csavarokat húzott csavar esetén nagyobb merevség biztosítása, illetőleg rezgésekkel vagy fárasztóterheléssel szembeni kedvezőbb viselkedés miatt alkalmazunk.

Ha egy csavar egyszerre húzott és nyírt (ez egyébként gyakran fordul elő, például homloklemes kapcsolatokban), akkor két osztálya van. A lehetséges párosítások: AD, BE, CE.

A csavar és a furat

Az Eurocode négyféle csavarlyuktípust különböztet meg: normál csavarlyukakat, túlméretes csavarlyukakat, rövid hasíték lyukakat és hosszú hasíték lyukakat. Mi a továbbiakban mindig feltételezzük, hogy normál csavarlyukakat alkalmazunk.

Normál csavarlyukak esetén a lyukhézag (azaz a furatátmérő és a furatba kerülő csavar szárátmérője közötti különbség) a csavar átmérőjétől függ, és a következők szerint van szabályozva:

- M12 és M14 csavar esetén 1 mm;
- M16, (M18), M20, M22, M24 csavar esetén 2 mm
- M27 és annál nagyobb csavar esetén 3 mm.

Az előző felsorolás egyben tájékoztatást ad a járatos csavarméretekről is (a jelölések a magyar gyakorlatban megszokottal egyeznek, tehát „M20” a 20 mm szárátmérőjű csavart jelöli). A csavarok szabványos geometriai adatait a *4.1. táblázat* foglalja össze.

A csavarok anyagának jelölése ugyancsak megegyezik a magyar gyakorlattal. A következő csavarminőségeket szokás alkalmazni (a kevésbé gyakoriak zárójelek között szerepelnek):

(4.6), (4.8), 5.6, (5.8), (6.6), (6.8), 8.8, 10.9, (12.9)

A jelölésben az első szám a csavar szakítószilárdságának karakterisztikus értékére (f_{ub}) utal (5.6 csavar esetén $f_{ub} = 500$ MPa stb.), míg a második szám a csavar folyáshatárának karakterisztikus értékét (f_{yb}) adja meg a szakítószilárdsághoz viszonyítva (5.6 csavar esetén $f_{yb} = 0,6 \cdot f_{ub} = 300$ MPa stb.).

A 4.1. táblázat megadja a szabványos csavarok mindazon geometriai jellemzőit, amelyeket az Eurocode szerinti számításokban felhasználunk. Az egyes jellemzők részletesebb magyarázatát felhasználásuk helyén adjuk meg.

csavar	átmérő d , mm	furatátmérő d_0 , mm	keresztmetszeti terület A , mm ²	húzási feszültség- keresztmetszet A_s , mm ²	átmérő a kigombolódás számításához d_m , mm
M12	12	13	113	84,3	20,5
M14	14	15	154	115	23,7
M16	16	18	201	157	24,6
M18	18	20	254	192	29,1
M20	20	22	314	245	32,4
M22	22	24	380	303	34,5
M24	24	26	452	353	38,8
M27	27	30	573	459	44,2
M30	30	33	707	561	49,6

4.1. táblázat: Csavarok legfontosabb geometriai jellemzői.

A csavarkép

Csavarozott kötésekben a csavarok kiosztását tekintve minimális és maximális távolsági méretekhez kell igazodni, amelyeket a 4.2. táblázat foglal össze. A minimális határok betartása a csavar teherbírását leíró képletek érvényességéhez szükséges, a maximális határok pedig elsősorban a kapcsolt lemezek egymástól való elválásának, illetve az ebből eredő korróziós veszélynek a megelőzésére, valamint nyomott lemezekben a lemezhorpadás megakadályozására szükségesek. Ha sem korróziós veszély, sem pedig a lemezhorpadás lehetősége nem áll fenn, maximális határokhoz nem kell igazodni.

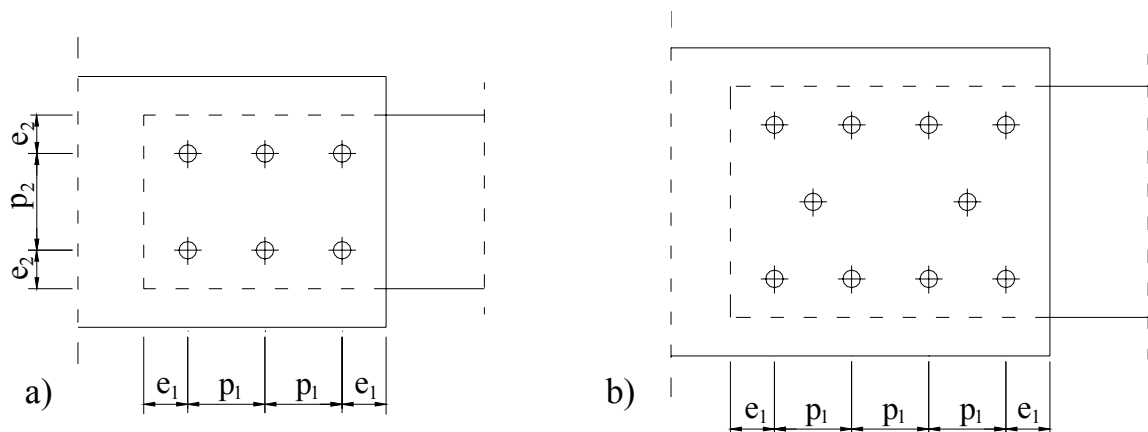
A csavarok elrendezésének leírása során az Eurocode és a kapcsolódó szakirodalom a következő jelöléseket használja (4.2. ábra):

- d a csavarszár átmérője
- d_0 a csavarlyuk átmérője;
- e_1 a szélső csavarlyuk tengelyének távolsága az elem végétől, az erőátadás irányában (röviden: végtávolság)
- e_2 a szélső csavarlyuk tengelyének távolsága az elem szélétől, az erőátadás irányára merőlegesen (röviden: széltávolság)
- p_1 a csavarlyukak tengelyének egymástól mért távolsága az erőátadás irányában (osztásköz)
- p_2 a csavarlyukak tengelyének egymástól mért távolsága az erőátadás irányára merőlegesen (osztásköz).

Méret	Minimális távolság	Maximális távolság		
		EN 10025 szerinti acélok, az EN 10025-5 szerinti acélok kivételével		EN 10025-5 szerinti acélok
		fokozott korrózióveszély	nincs fokozott korrózióveszély	külön védelem nélküli acél
e_1	$1,2d_0$	40 mm + 4t	–	max(8t, 125 mm)
e_2				
p_1	$2,2d_0$	min(14t, 200 mm)	min(14t, 200 mm)	min(14t, 175 mm)
p_2	$2,4d_0^*$			

4.2. táblázat: A vég-, szél- és osztástávolságok csavarozott kapcsolatokban.

A már magyarázott jelöléseken túl t a vékonyabbik kapcsolt lemez vastagsága. Az EN 10025-5 szerinti acélok fokozottan ellenállnak a légköri korróciónak. A csavarlyuksorok az erőátadás irányában szimmetrikusan eltolhatók; ekkor közbenső csavarsorokban p_1 -re fokozott korrózióveszély esetén a táblázatban megadott érték kétszerese vonatkozik, míg a másik két esetben nincs maximális határ; ugyanekkor a *-gal jelölt határ felére csökkenthető, feltéve, hogy a csavarok között mért legkisebb átlós távolság legalább $2,4d_0$ értékű. Nyomott lemezekben a maximális osztástávolságoknak (p_1, p_2) és széltávolságnak (e_2) a horpadás is határt szab.



4.2. ábra: A csavarkép leírására használt jelölések (a) és szimmetrikusan eltolts csavarsorok (b).

A (b) szerinti esetben a nem szélső csavarsorokban az erőátadás irányában a csavarok osztástávolságának maximális mérete kétszeresére növelhető a 4.2. táblázatban megadott értéknek, illetőleg bizonyos feltételek esetén (ld. a táblázathoz fűzött magyarázatban) nincs maximális határ.

Nem feszített csavarok ellenállása

Nyírt csavarok ellenállása

A nyírt csavarok tönkremenetele feltételezéseink szerint vagy a csavarszár elnyíródásával, vagy a csavarszár körül az alapanyag (ritkábban a csavarszár) palástnyomási ellenállásának kimerülésével következhet be. Ennek megfelelően nyírt csavarok esetén a következő két ellenőrzést kell elvégezni:

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

ahol

- $F_{v,Ed}$ a csavarra ható nyíróerő tervezési értéke;
- $F_{v,Rd}$ a csavar nyírási ellenállásának tervezési értéke;
- $F_{b,Rd}$ a csavar palástnyomási ellenállásának tervezési értéke.

A csavarok $F_{v,Rd}$ nyírási ellenállásának meghatározásához tudni kell, hogy a csavarszár mely (a menetes vagy a menet nélküli) részében működik a nyírás, illetve azt, hogy hány nyírt sík van. n -szer nyírt csavar esetén, ha valamennyi nyírt sík a menet nélküli részben van, akkor a csavar nyírási ellenállása:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

ahol

- f_{ub} a csavar anyagának szakítószilárdsága;
- A a csavarszár keresztmetszete (ez a mennyiség számítható a csavarátmérőből);
- γ_{M2} a képlékeny töréshez tartozó biztonsági tényező, amelynek a szabványban ajánlott értéke 1,25.

n -szer nyírt csavar esetén, ha valamennyi nyírt sík a csavar menetes részén halad át (az ilyen kialakítást célszerű kerülni), akkor a nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

ahol az előzőekben már megmagyarázott jelöléseken túl:

- α_v a csavar anyagától függő módosító tényező: 4.6, 5.6 vagy 8.8 anyagú csavar esetén $\alpha_v = 0,6$, 4.8, 5.8, 6.8 és 10.9 anyagú csavar esetén pedig $\alpha_v = 0,5$;
- A_s a csavar feszültség-keresztmetszete, értékét a 4.1. táblázat adja meg.

Ha a nyírt síkok vegyesen a menetes és a menet nélküli részben vannak, akkor az előző két képlet értelemszerű kombinálásával lehet a csavar nyírási ellenállását meghatározni.

Az $F_{b,Rd}$ palástnyomási ellenállást a következő képlet adja:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

ahol az előzőekben már tárgyaltakon túl:

- f_u az alapanyag szakítószilárdsága;
- d a csavarszár átmérője;
- t az egy irányba elmozdulni akaró lemezek összvastagsága közül a kisebbik;
- α_b a csavarkép geometriájától függő csökkentő tényező, amely egyben szükség esetén a csavar szakítószilárdságának hatását is figyelembe veszi (jelöléseket lsd. a fent):

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

ahol az erőátadás irányában szélső, illetőleg belső csavarokra:

$$\alpha_d = \begin{cases} \frac{e_1}{3d_0} & \text{(szélső csavar)} \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} & \text{(belső csavar)} \end{cases}$$

- k_1 ugyancsak a csavarkép geometriájától függő csökkentő tényező; az erőátadásra merőleges irányban szélső, illetőleg belső csavarokra:

$$k_1 = \begin{cases} \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) & \text{(szélső csavar)} \\ \min\left(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) & \text{(belső csavar)} \end{cases}$$

A képletekből látható, hogy a csavarkép változásával (a végtávolság, a széltávolság és az osztástávolság növelésével) bizonyos határok között növelhető a palástnyomási ellenállás. Ezért, ha a palástnyomás a mértékadó, akkor a csavarképet lehetőség szerint úgy célszerű kialakítani, hogy az α értéke 1,0, k_1 értéke pedig 2,5 legyen.

Abban az esetben, ha a kapcsolat ún. hosszú kapcsolat, azaz az egyazon erő átvitelére tervezett kötőelemek közül az első és az utolsó távolsága (a kapcsolat L_j hossza) az erőátadás irányában meghaladja a $15d$ értéket, a csavarok $F_{v,Rd}$ nyírási ellenállását a következő csökkentő tényezővel kell módosítani (annak figyelembevételére, hogy ezekben a kötésekben az erők eloszlása már nem tekinthető egyenletesnek):

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d}, \quad \text{de} \quad \beta_{Lf} \geq 0,75$$

Béléslemezek alkalmazása esetén, ha a béléslemezek t_p teljes vastagsága meghaladja a kötőelemek d szarátmérőjének $1/3$ -át, akkor az $F_{v,Rd}$ nyírási ellenállást a következő tényezővel kell csökkenteni:

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p}, \quad \text{de} \quad \beta_p \leq 1,0$$

Húzott csavarok ellenállása

A húzott csavarok tönkremenetele vagy a csavar elszakadásával (húzási ellenállása kimerülésével), vagy az úgynevezett kigombolódási nyírási ellenállás kimerülésével következhet be. A kigombolódási ellenállás kimerülésekor a csavarfej vagy a csavaranya alatt a kapcsolt lemez vastagsága mentén körhöz hasonló alakban elnyíródik, hasonlóan a vasbeton lemezek átszúródásához. A helyesen kialakított kötésekben a csavar húzási tönkremenetele a mértékadó. A húzott csavar ellenőrzésekor a következő két feltétel teljesülését kell kimutatni:

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

ahol $F_{t,Ed}$ a csavarban ébredő húzóerő, $F_{t,Rd}$ a csavar húzási ellenállása, $B_{p,Rd}$ a csavar–lemez együttes kigombolódási ellenállása.

A csavar húzási ellenállását ($F_{t,Rd}$) a következő képlet adja:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

a képletben szereplő jelölések már ismerősek az előző szakaszból.

A csavar-lemez együttes kigombolódási ellenállását elvileg külön-külön ki kell számítani a csavarfej és az anya alatt; a legtöbb esetben azonban szemléletből megállapítható, melyik a mértékadó (általában az, amely alatt vékonyabb lemez van). Értéke a következő képletből számítható:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

ahol:

- d_m a csavarfej vagy a csavaranya laptávolságának (beírt kör átmérője) és csúcstávolságának (köré írt kör átmérője) számtani közepe, lsd. 4.1. táblázat;
- t_p a csavarfej vagy az anya alatti lemez vastagsága;
- f_u a lemez anyagának szakítószilárdsága.

Összetett igénybevétellel terhelt (húzott és nyírt) csavarok ellenállása

Ha egy csavart egyszerre terheli húzó- és nyíróerő ($F_{t,Ed}$ és $F_{v,Ed}$), akkor a csavart egyrészt ellenőrizni kell külön nyírásra és külön húzásra, továbbá (mivel a nyírt síkokban nyíró- és húzófeszültségek egyszerre keletkeznek) ki kell mutatni egy további feltétel teljesülését (a jelölések az előzőek szerintiek):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

A képlet felépítéséből következik, hogy a következő kiegészítő feltételeknek is teljesülniük kell:

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$$

Súrlódásos feszített csavarok ellenállása

Nyírt csavarok ellenállása

Nyíróerővel terhelt csavarok esetén (amelyeket nyírt csavaroknak is hívhatunk, bár a csavarokban nem lép fel nyírófeszültség), ha a csavarok feszítettek, az erőátadás oly módon valósul meg, hogy a feszített csavarok összeszorítják az érintkező felületeket, amelyek ezek után súrlódás révén közvetlenül adják át az erőt. A súrlódás révén történő erőátadás feltétele, hogy az egy-egy csavarra számítható igénybevétel ($F_{v,Ed}$) ne haladja meg a csavar megcsúszási ellenállását ($F_{s,Rd}$), azaz azt az erőt, amelynél a felületek közötti tapadási súrlódás megszűnik.

Az Eurocode 3 szerint követelmény továbbá, hogy az $F_{v,Ed}$ csavarerő a csavar $F_{b,Rd}$ palástnyomási ellenállását se haladja meg (a palástnyomási ellenállást a nem feszített csavarok esetében tanult módon kell meghatározni).

A fenti szakaszban megkülönböztettünk B és C kategóriájú kapcsolatokat – a B kategóriában a súrlódásos erőátadásnak csak a használhatósági határállapothoz tartozó terhekre, a C

kategóriában pedig a teherbírási határállapothoz tartozó terhekre is működnie kell. Ennek megfelelően az egyes kategóriákra a következő ellenőrzések szükségesek (valamennyi jelölt mennyiség egyetlen csavarra vonatkozik):

- *B kategória:*

$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd}$ – a használhatósági határállapothoz tartozó nyíróerő nem haladja meg a csavar használhatósági határállapothoz tartozó megcsúszási ellenállását;

$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ – a teherbírási határállapothoz tartozó nyíróerő nem haladja meg a csavar nyírási ellenállását (a nem feszített csavarokkal azonos módon);

$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ – a teherbírási határállapothoz tartozó nyíróerő nem haladja meg a csavar palástnyomási ellenállását (a nem feszített csavarokkal azonos módon);

- *C kategória:*

$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ – a teherbírási határállapothoz tartozó nyíróerő nem haladja meg a csavar teherbírási határállapothoz tartozó megcsúszási ellenállását;

$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ – a teherbírási határállapothoz tartozó nyíróerő nem haladja meg a csavar palástnyomási ellenállását (a nem feszített csavarokkal azonos módon).

Mind a teherbírási, mind a használhatósági határállapothoz tartozó megcsúszási ellenállás arányos a csavar feszítőerejével, amelyet a számításokban a következő értékkel kell feltételezni (és a kivitelezési szabvány¹ szerint kivitelezéskor ekkora erőre kell meghúzni a csavarokat):

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$$

ahol az előző szakaszhoz hasonlóan f_{ub} a csavar anyagának szakítószilárdsága, A_s pedig a csavar feszültség-keresztmetszete.

A teherbírási és a használhatósági határállapothoz tartozó megcsúszási ellenállás értékét (amely egy csavarra vonatkozik) egyaránt a következő összefüggés szolgáltatja:

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

ahol

- k_s a lyuktényező, amelynek értéke:
 - normál csavarlyukakra 1,0;
 - túlméretes lyukakra 0,85;
 - rövid hasíték lyukakra 0,85 vagy 0,76 attól függően, hogy az erőátadás a hasíték lyuk tengelyére merőleges vagy azzal párhuzamos-e;
 - hosszú hasíték lyukakra 0,70 vagy 0,63, ugyancsak attól függően, hogy az erőátadás a hasíték lyuk tengelyére merőleges vagy azzal párhuzamos-e.
- n a súrlódó felületek száma,
- μ a súrlódási tényező, amely a felület-előkészítési osztály függvényében van megadva (ld. később);
- γ_{M3} pedig a biztonsági tényező, amelynek értéke általában 1,1 (ún. hibrid kötésekben azonban 1,25).

¹ lsd. MSZ ENV 1090-1:1999, 8.7.1. szakasz (4) bekezdés

A súrlódási tényező szempontjából négy felület-előkészítési osztályt (A, B, C és D) különböztetünk meg; az ezekhez tartozó súrlódási tényező rendre 0,5; 0,4; 0,3 és 0,2. A felület-előkészítési osztályok:

- az A osztályba tartoznak a sörétezett vagy szemcsefűtt, de festetlen felületek;
- a B osztályba tartoznak a sörétezett vagy szemcsefűtt, majd festett felületek;
- a C osztályba tartoznak a drótkéfézessel vagy lángszórással tisztított felületek;
- a D osztályba pedig a kezeletlen felületek tartoznak.

Összetett igénybevétellel terhelt (húzott és nyírt) csavarok ellenállása

Húzóerő jelenléte esetén egyrészt ellenőrizni kell a csavarokat mint nem feszített csavarokat húzásra (húzási és kigombolódási ellenállás), továbbá vizsgálni kell nyírásra az előző (a) pontban tárgyalt módon, de a következő, módosított megcsúszási ellenállásokkal:

- B kategória esetén:

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

- C kategória esetén:

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

ahol $F_{t,Ed,ser}$ és $F_{t,Ed}$ a húzóerő tervezési értéke a használhatósági határállapotban, illetőleg a teherbírási határállapotban.

4.2.2. Húzott/nyomott elemek csavarozott kapcsolatai

Ebben a fejezetben mintapéldákat oldunk meg a 4.2.1 fejezetben ismertetett méretezési eljárás alkalmazásával húzott/nyomott elemek közötti csavarozott kapcsolatok kialakítására. A következő példatípusokat mutatjuk be egyszer- illetve kétszernyírt kapcsolatok esetén: átlapolt és hevederes kapcsolatok; rúdszelvény bekötése csomólemezhöz; I-szelvény illesztése.

4.1. Példa

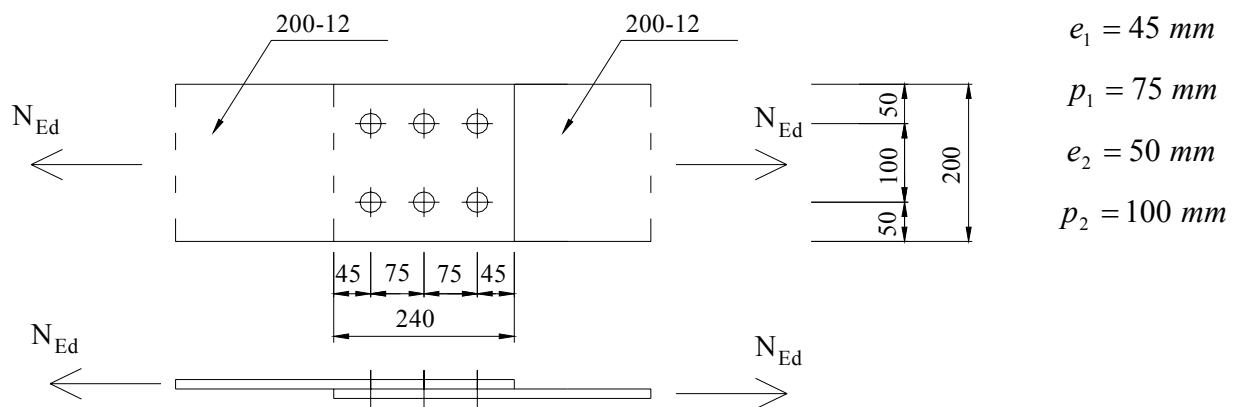
Ellenőrizzük a 4.3. ábrán látható 200-12 méretű központosan húzott rúd egyszer nyírt csavarozott illesztését $N_{Ed} = 450 \text{ kN}$ erőre!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 8.8 $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$

$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2$ $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$

A csavarkiosztás:



4.3. ábra: A húzott rúd illesztése.

A keresztmetszet húzási ellenállása:

Húzott elemekre a húzóerő N_{Ed} tervezési értékének minden metszetben teljesíteni kell a következő feltételt: $N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$

$N_{t,Rd}$ értéke a 3.2.1 Központosan húzott keresztmetszet **3.1. példa**

$N_{t,Rd} = 460,34 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN} \rightarrow$ Megfelel.

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át ($\alpha_v = 0,6$), a nyírási ellenállás nyírt felületenként:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 173,72 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar
a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 26} = 0,58 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,58$$

- erő irányában közbenső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,71 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,71$$

A palástnyomási ellenállás:

- erő irányában, szélső csavar

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,2}{1,25} = 120,27 \text{ kN}$$

- erő irányában, közbenső csavar

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,71 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,2}{1,25} = 147,22 \text{ kN}$$

Mind a hat csavar esetén a palástnyomási ellenállás a mértékadó.

A kapcsolat ellenállása:

Mivel az $F_{v,Rd}$ nyírási ellenállás minden esetben nagyobb a csavar $F_{b,Rd,i}$ palástnyomási ellenállásánál így a kapcsolat ellenállását a palástnyomási ellenállások összegzéséből kapjuk. A palástnyomási ellenállás szempontjából 4 db szélső és 2 db közbenső csavart tartalmaz a kapcsolat, melyek összegezve.

$$\Sigma F_{b,Rd} = 4 \cdot F_{b,Rd,1} + 2 \cdot F_{b,Rd,2} = 4 \cdot 120,27 + 2 \cdot 147,22 = 775,52 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$N_{Ed} = 450 \text{ kN} < \Sigma F_{b,Rd} = 775,52 \text{ kN} \rightarrow \text{A kapcsolat megfelel.}$$

Megjegyzés:

- Könnyen belátható, hogy a kapcsolat 4 csavarral is megfelelne:

$$\Sigma F_{b,Rd} = 4 \cdot F_{b,Rd,1} = 481,08 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN}$$

- A fentebb leírt kapcsolat ellenőrzése során a csavarok tervezési ellenállásánál a palástnyomási ellenállás volt a mértékadó. Előfordulhat, hogy egy kapcsolaton belül bizonyos csavarokra a palástnyomási-, másokra a nyírási ellenállás a mértékadó.
- A biztonság javára tett közelítésként a kapcsolat palástnyomási ellenállása a csavar legkisebb palástnyomási ellenállásából is számítható.

4.2. Példa

Ellenőrizzünk az előző feladathoz hasonlóan egy 250-16 átlapolt csavarozott kapcsolatot! A kapcsolatot $N_{Ed} = 700 \text{ kN}$ húzóerő terheli, a csavarképet a 4.4. ábra szemlélteti. Tétélezzük fel, hogy a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át!

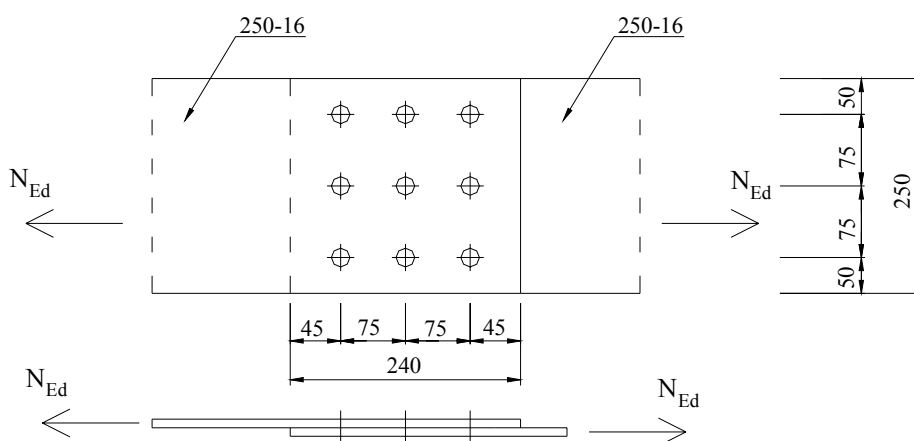
Figyeljük meg a palástnyomási ellenállás számításának menetét!

$$\text{Alapanyag: S235} \quad f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \quad f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Csavarok: M24, 8.8} \rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$$

A csavarkiosztás:



$$e_1 = 45 \text{ mm}$$

$$p_1 = 75 \text{ mm}$$

$$p_2 = 75 \text{ mm}$$

$$e_2 = 50 \text{ mm}$$

4.4. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A keresztmetszet húzási ellenállás:

$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

Ahol:

- $N_{pl,Rd}$: a teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása.
- $N_{u,Rd}$: a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{25 \cdot 1,6 \cdot 23,5}{1,0} = 940,0 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(25 - 3 \cdot 2,6) \cdot 1,6 \cdot 36}{1,25} = 713,3 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 713,3 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN} \rightarrow \text{A keresztmetszet húzásra megfelel.}$$

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át ($\alpha_v = 0,6$), a nyírási ellenállás nyírt felületenként:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 173,72 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

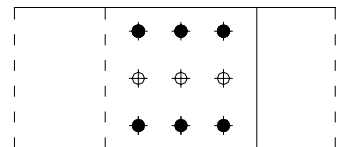
$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right)$$

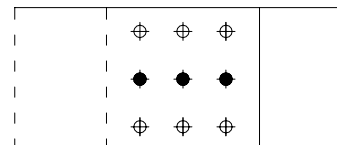
$$\rightarrow k_1 = 2,5$$



- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 14 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{75}{26} - 1,7 = 2,34 \\ 2,5 \end{array} \right)$$

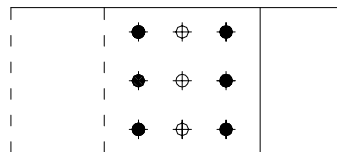
$$\rightarrow k_1 = 2,34$$



α_b számítása:

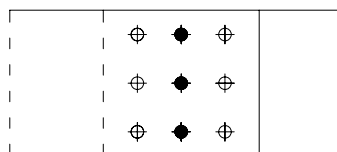
- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 26} = 0,58 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,58$$



- erő irányában közbenső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,71 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,71$$

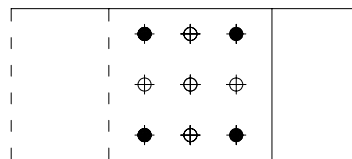


A palástnyomási ellenállás:

A csavarok elhelyezkedéséből adódóan négyféle palástnyomási ellenállás számítható:

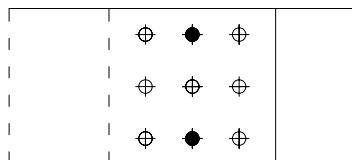
- 1. eset: $k_1 = 2,5$ és $\alpha_b = 0,58$ (4 db csavar)

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,6}{1,25} = 160,36 \text{ kN}$$



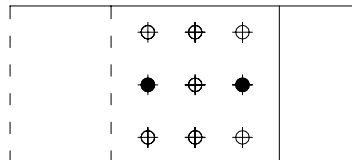
- 2. eset: $k_1 = 2,5$ és $\alpha_b = 0,71$ (2 db csavar)

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,71 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,6}{1,25} = 196,30 \text{ kN}$$



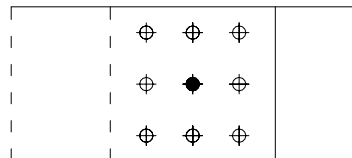
- 3. eset: $k_1 = 2,34$ és $\alpha_b = 0,58$ (2 db csavar)

$$F_{b,Rd,3} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,34 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,6}{1,25} = 150,09 \text{ kN}$$



- 4. eset: $k_1 = 2,34$ és $\alpha_b = 0,71$ (1 db csavar)

$$F_{b,Rd,4} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,34 \cdot 0,71 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,6}{1,25} = 183,74 \text{ kN}$$



A kapcsolat ellenállása:

Mivel az $F_{v,Rd}$ nyírási ellenállás nem minden esetben nagyobb a csavar $F_{b,Rd,i}$ palástnyomási ellenállásánál a kapcsolat ellenállását a legkisebb palástnyomási ellenállásból kell számítani:

$$\Sigma F_{Rd} = 9 \cdot F_{b,Rd,3} = 9 \cdot 150,09 = 1350,81 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$N_{Ed} = 700 \text{ kN} < \Sigma F_{Rd} = 1350,81 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{A kapcsolat megfelel.}$$

4.3. Példa

Illesszünk egy 200-12 méretű húzott lemezt egyszer nyírt csavarozott átlapoló kapcsolattal! Alkalmazzunk M20, 8.8-as csavarokat az egyen teherbírású kapcsolat kialakítására (4.5. ábra)!

$$\text{Alapanyag: S235} \quad f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \quad f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

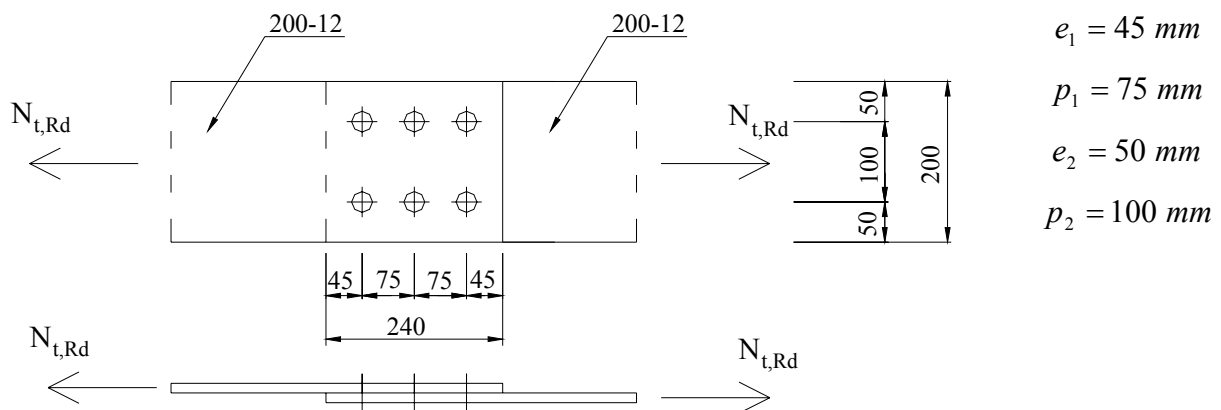
$$\text{Csavarok: M20, 8.8} \rightarrow d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$$

A kapcsolatot egyen teherbírásúnak nevezzük, ha a csavartól az elem teherbírása legalább akkora, mint a lemez teherbírása.

A szerkesztési szabályoknak megfelelően egy keresztmetszetben 2 vagy 3 csavar helyezhető el. Alkalmazzunk 2 csavart egy keresztmetszetben.

A csavarkiosztás:



4.5. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A keresztmetszet húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

Ahol:

- $N_{pl,Rd}$: a teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása.
- $N_{u,Rd}$: a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 1,2 \cdot 23,5}{1,0} = 564,0 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(20 - 2 \cdot 2,2) \cdot 1,2 \cdot 36}{1,25} = 485,22 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 485,22 \text{ kN}$ erő felvételére kell meghatározni a szükséges csavarszámot.

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át ($\alpha_v = 0,6$), a nyírási ellenállás nyírt felületenként:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,0^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 120,64 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{22} - 1,7 = 4,66 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar
ilyen csavart a kapcsolat nem tartalmaz.

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 22} = 0,68 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,68$$

- erő irányában közbenső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,89 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,89$$

A palástnyomási ellenállás:

- erő irányában szélső csavar

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,68 \cdot 36 \cdot 2,0 \cdot 1,2}{1,25} = 117,50 \text{ kN}$$

- erő irányában közbenső csavar

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,89 \cdot 36 \cdot 2,0 \cdot 1,2}{1,25} = 153,79 \text{ kN}$$

A szükséges és alkalmazott csavarszám:

Feltételezzük, hogy minden csavar a számított palástnyomási ellenállások közül a kisebbikkel rendelkezik.

A szükséges csavarszám

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{485,22}{117,50} = 4,13 \text{ db}$$

Az alkalmazott csavarszám

$$n_{alk} = 6 \text{ db} \rightarrow 3 \times 2 \text{ db}$$

4.4. Példa

Illesszünk egy 320-20 méretű húzott lemezt kétszer nyírt csavarozott kapcsolattal! Alkalmazzunk M24, 5.6-os csavarokat az egyen teherbírású kapcsolat kialakítására (4.6. ábra)!

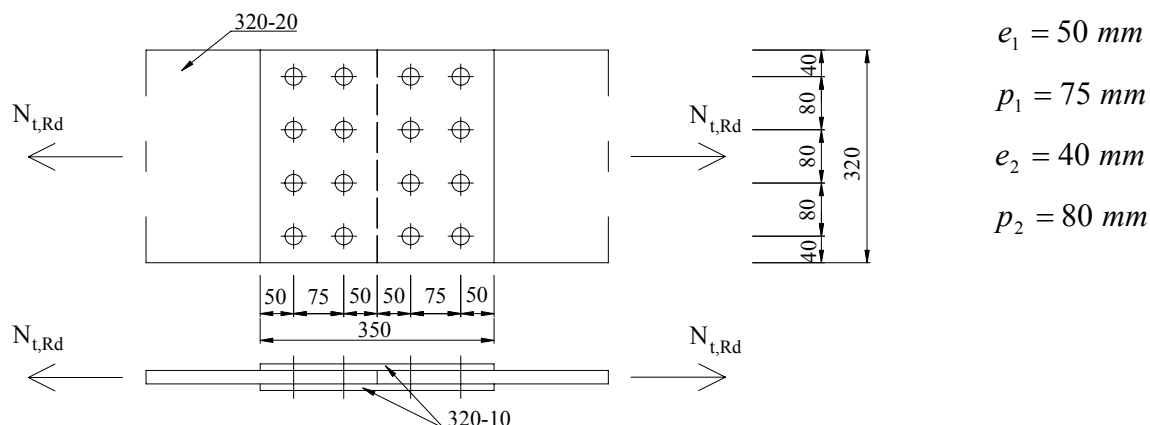
Alapanyag: S275 $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 5.6 $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$

$$f_{yb} = 30,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

A csavarkiosztás:

A szerkesztési szabályokat figyelembe véve egy keresztmetszetben 4 csavart helyezünk el.



4.6. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A lemezek és hevederek tervezési húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

A teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{32 \cdot 2,0 \cdot 27,5}{1,0} = 1760,0 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(32 - 4 \cdot 2,6) \cdot 2,0 \cdot 43}{1,25} = 1337,42 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 1337,47 \text{ kN}$ erő felvételére kell meghatározni a szükséges csavarszámot.

Mivel a hevederek anyagminősége és együttes hasznos keresztmetszeti területe megegyezik a kapcsolt lemezekével, nem kell külön vizsgálni a tervezési ellenállásukat.

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás: (a csavar ezúttal kétszer nyírt)

Ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át, a nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 217,15 \text{ kN} \leftarrow \text{Ez a mértékadó!}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7 = 2,61 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{80}{26} - 1,7 = 2,61 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 26} = 0,64 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{43} = 1,16 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,64$$

- erő irányában közbenső csavar
a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,64 \cdot 43 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 264,19 \text{ kN}$$

A szükséges és alkalmazott csavarszám:

A szükséges csavarszám

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{v,Rd}} = \frac{1337,47}{217,15} = 6,16 \text{ db}$$

Az alkalmazott csavarszám

$$n_{alk} = 8 \text{ db} \rightarrow 2 \times 4 \text{ db}$$

Alternatív csavarminőség alkalmazása (8.8): $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$

A nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 347,44 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$F_{b,Rd}$ értéke nem változik, és ebben az esetben ez lesz a mértékadó.

A szükséges csavarszám

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{1337,47}{264,19} = 5,06 \text{ db}$$

Az alkalmazott csavarszám

$$n_{alk} = 8 \text{ db} \rightarrow 2 \times 4 \text{ db, azaz az alkalmazott csavarok száma (8 db) nem csökkent.}$$

4.5. Példa

Tervezzük meg a két szögacélból álló húzott rúd bekötését csavarozott kapcsolattal (4.7. ábra)!
Feltételezzük, hogy a nyírt felület a csavar menetes részén halad át.

A rúd szelvénye: $2 \times (70 \cdot 70.7)$ $A = 9,4 \text{ cm}^2$ (1 db szögacél)

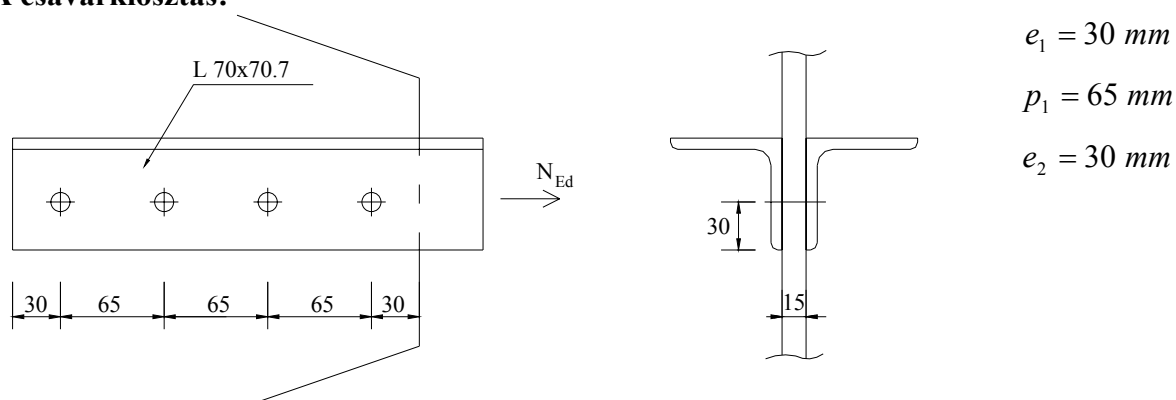
A csomólemez vastagsága: 15 mm

Alapanyag: S275 $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M16, 8.8 $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$

$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2$ $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$

A csavarkiosztás:



4.7. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A szögacél bekötése esetén, a csavarok elhelyezésének szabályai az [1]-ben a 79. oldalon található.

A szögacélok tervezési húzási ellenállása:

A β tényező meghatározása:

Feltételezzük, hogy 2 csavar elegendő.

$$\left. \begin{array}{l} 2,5 \cdot d_0 = 45 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,4 \\ 5 \cdot d_0 = 90 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,7 \end{array} \right\} \text{ Ebből lineáris interpolációval a 65 mm-es csavartávolsághoz tartozó érték } \beta = 0,533 .$$

A teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \cdot 2 = \frac{9,4 \cdot 27,5}{1,0} \cdot 2 = 517,0 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \cdot 2 = 0,533 \cdot \frac{(9,4 - 1,8 \cdot 0,7) \cdot 43}{1,25} \cdot 2 = 298,50 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 298,50 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Ha a nyírt felület a csavar menetes részén halad át, akkor A_s feszültség keresztmetszettel számolunk és α_v értéke következők szerint alakul:

$$\alpha_v = 0,6 \quad - 4.6; 5.6 \text{ és } 8.8 \text{ csavar}$$

$$\alpha_v = 0,5 \quad - 10.9 \text{ csavar}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \quad (\text{M16 csavar } 4.1 \text{ táblázat})$$

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 1,57}{1,25} = 120,58 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar
a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,56 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{43} = 1,86 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,56$$

- erő irányában közbenső csavar (ha legalább 3 csavart alkalmazunk)

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{65}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 0,95 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{43} = 1,86 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,95$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 0,7}{1,25} = 107,88 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,95 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 0,7}{1,25} = 183,01 \text{ kN}$$

A szükséges csavarszám:

Feltételezzük, hogy minden csavar a számított palástnyomási ellenállások közül a kisebbikkel rendelkezik.

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{298,50}{107,88} = 2,77 \text{ db} \rightarrow \text{tehát a feltevés, hogy 2 csavar elegendő, nem volt helyes.}$$

A szögacélok tervezési húzási ellenállása – új β tényezővel:

Új β tényező (3 db vagy több csavar feltételezésével)

$$2,5 \cdot d_0 = 45 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,5$$

$$5 \cdot d_0 = 90 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,7$$

Ebből lineáris interpolációval a 65 mm-es csavartávolsághoz tartozó érték $\beta = 0,588$.

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési törési ellenállása:

$$N'_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \cdot 2 = 0,588 \cdot \frac{(9,4 - 1,8 \cdot 0,7) \cdot 43}{1,25} \cdot 2 = 329,3 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N'_{u,Rd}) = 329,3 \text{ kN}$$

A szükséges és alkalmazott csavarszám:

A szükséges csavarszám:

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{329,3}{107,88} = 3,1 \text{ db}$$

Alkalmazott csavarszám:

$$n_{alk} = 4 \text{ db} \rightarrow 4 \times 1 \text{ db, tehát az új feltevés helyes volt.}$$

4.6. Példa

Illesszünk egy 200-20 méretű húzott lemezt C kategóriájú feszített csavarozott kapcsolattal (4.8. ábra)! Ha

a) "A" felületi osztály $\rightarrow \mu = 0,5$

b) "D" felületi osztály $\rightarrow \mu = 0,2$

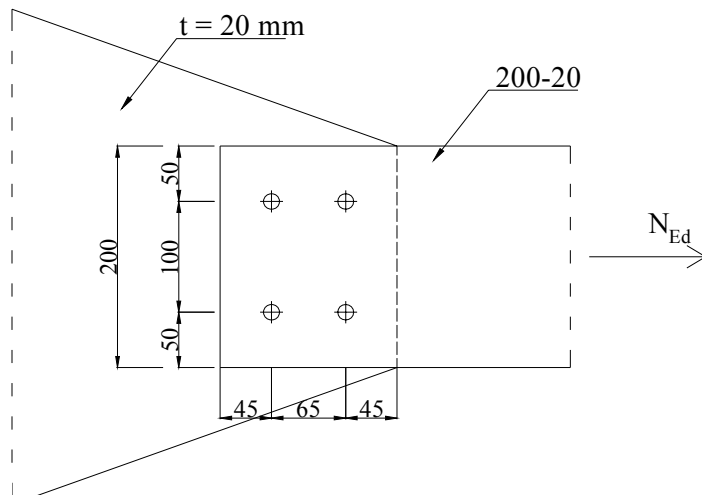
Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 10.9 $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$

$$A_s = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$f_{yb} = 90,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 100,0 \text{ kN/cm}^2$$

A csavarkiosztás:



$$e_1 = 45 \text{ mm}$$

$$p_1 = 65 \text{ mm}$$

$$e_2 = 50 \text{ mm}$$

$$p_2 = 100 \text{ mm}$$

4.8. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A lemezek tervezési ellenállása:

Feszített csavaros kapcsolatok esetén az alapanyag ellenállása (Isd. 3.2.1):

$$N_{t,Rd} = N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(20 - 2 \cdot 2,6) \cdot 2 \cdot 23,5}{1,0} = 695,6 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{net,Rd} = 695,6 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállása:

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

k₁ számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar
a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 26} = 0,58 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2,78 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,58$$

- erő irányában közbenső csavar

a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 200,45 \text{ kN}$$

Egy csavar megcsúszási ellenállása:

- egy csavar feszítőereje

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 100 \cdot 3,53 = 247,1 \text{ kN}$$

- a megcsúszási ellenállások a két esetre

$$\text{a) } F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,5}{1,1} \cdot 247,1 = 112,32 \text{ kN}$$

$$\text{b) } F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,2}{1,1} \cdot 247,1 = 44,93 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállásai közül a csavar megcsúszási ellenállása a mértékadó.

Szükséges és alkalmazott csavarszámok:

$$\text{a) } n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{s,Rd}} = \frac{695,6}{112,32} = 6,2 \text{ db} \quad n_{alk} = 8 \text{ db} \quad \rightarrow \quad 4 \times 2 \text{ db}$$

A 4.8. ábrán feltételezett 4 db csavar kevés, 8 db csavar alkalmazunk; 4 sorban 2-2 db csavar.

$$\text{b) } n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{s,Rd}} = \frac{695,6}{44,93} = 15,5 \text{ db} \quad n_{alk} = 16 \text{ db} \quad \rightarrow \quad 8 \times 2 \text{ db}$$

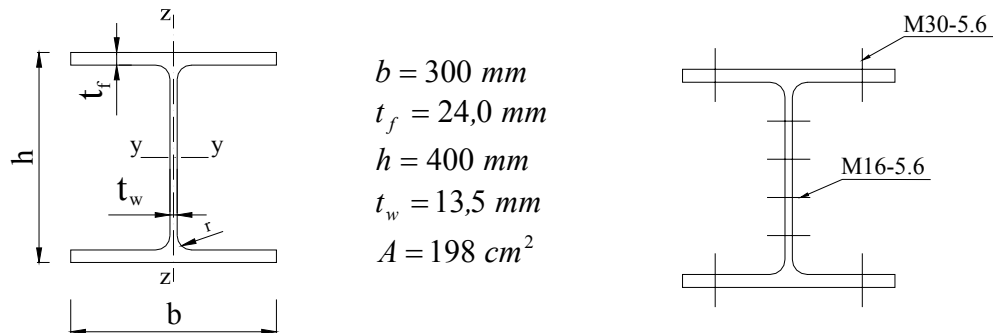
A 4.8. ábrán feltételezett 4 db csavar kevés, a D felületi osztály miatt 16 db csavarra lenne szükség, amely 8 sorban helyezhető el. Azonban a szerkesztési szabályok szerint max. 6 sorban lehet a csavarokat elhelyezni.

4.7. Példa

Tervezze meg egy HEB 400-as szelvényű húzott rúd 4.9. ábra szerinti csavarozott illesztését $F_{Ek,g} = 900 \text{ kN}$ állandó és $F_{Ek,q} = 1600 \text{ kN}$ hasznos húzóerőre!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Keresztmetszeti adatok: HEB 400 (táblázatból)



4.9. ábra: A szelvény és a kapcsolat geometriája.

Csavarok: M30, 5.6 $\rightarrow d_0 = 33 \text{ mm}$ az övekben

M16, 5.6 $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$ a gerincben

$$f_{yb} = 30,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

Húzóerő: $F_{Ek,g} = 900 \text{ kN}$ $\gamma_g = 1,35$ (állandó teher)

$F_{Ek,q} = 1600 \text{ kN}$ $\gamma_q = 1,5$ (hasznos teher)

A tervezési húzóerő:

Teherkombináció képzése

$$F_{Ed} = F_{Ek,g} \cdot \gamma_g + F_{Ek,q} \cdot \gamma_q = 900 \cdot 1,35 + 1600 \cdot 1,5 = 3615 \text{ kN}$$

A tervezési húzóerő szétosztása az övekre és a gerincre a felületek arányában.

$$A_{\text{öv}} = 2,4 \cdot 30 = 72 \text{ cm}^2 \text{ (1db öv)}$$

$$A_{\text{gerinc}} = A - 2 \cdot A_{\text{öv}} = 198 - 2 \cdot 72 = 54 \text{ cm}^2$$

Egy övre jutó tervezési húzóerő:

$$F_{Ed,f} = \frac{A_{\text{öv}} \cdot F_{Ed}}{A} = \frac{72 \cdot 3615}{198} = 1314,5 \text{ kN}$$

A gerincre jutó tervezési húzóerő:

$$F_{Ed,w} = \frac{A_{\text{gerinc}} \cdot F_{Ed}}{A} = \frac{54 \cdot 3615}{198} = 985,9 \text{ kN}$$

A szelvény húzási ellenállásának tervezési értéke:

$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

A teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{198 \cdot 23,5}{1,0} = 4653 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(198 - 4 \cdot 3,3 \cdot 2,4 - 4 \cdot 1,8 \cdot 1,35) \cdot 36}{1,25} = 4059,07 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 4059,07 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállása:

Nyírási ellenállás (menet nélküli részen):

$$F_{v,Rd}^{16} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 96,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd}^{30} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{3^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 339,3 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás: (a kapcsolat geometriáját a 4.10. ábra mutatja)

- M16-os csavarok:

$$\begin{array}{ll} e_1 = 40 \text{ mm} & e_2 = 35 \text{ mm} \\ p_1 = 70 \text{ mm} & p_2 = 75 \text{ mm} \end{array}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{18} - 1,7 = 3,74 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{75}{18} - 1,7 = 4,13 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,38 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,74$$

- erő irányában közbenső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,05 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,38 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 1,0$$

A minimális palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd}^{16} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,35}{1,25} = 115,08 \text{ kN}$$

- M30-as csavarok:

$$\begin{array}{ll} e_1 = 75 \text{ mm} & e_2 = 60 \text{ mm} \\ p_1 = 120 \text{ mm} & \end{array}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{55}{33} - 1,7 = 2,96 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{75}{3 \cdot 33} = 0,76 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,38 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,76$$

- erő irányában közbenső csavar
a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

A minimális palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd}^{30} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,76 \cdot 36 \cdot 3,0 \cdot 2,4}{1,25} = 393,98 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállásai közül mindkét csavar esetén a nyírási tervezési ellenállás a mértékadó.

A szükséges és alkalmazott csavarszám:

Egy övbe:

$$n_{sz,\ddot{o}v} = \frac{F_{Ed,f}}{F_{v,Rd}^{30}} = \frac{1314,6}{339,3} = 3,9 \text{ db} \quad n_{alk} = 4 \text{ db} \rightarrow 2 \times 2 \text{ db}$$

A gerincbe:

$$n_{sz,g} = \frac{F_{Ed,w}}{F_{v,Rd}^{16}} = \frac{985,91}{96,5} = 10,2 \text{ db} \quad n_{alk} = 12 \text{ db} \rightarrow 3 \times 4 \text{ db}$$

A hevederek tervezési húzási ellenállása és ellenőrzése:

$$N_{t,Rd} = \min \left(\begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

Öv:

$$A_{net,hev} = (30 - 3,3 \cdot 2) \cdot 1,2 + 2 \cdot (11,5 - 3,3) \cdot 1,8 = 57,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,\ddot{o}v} = (30 - 3,3 \cdot 2) \cdot 2,4 = 56,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,hev} = 57,6 \text{ cm}^2 > A_{net,\ddot{o}v} = 56,16 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Az övheveder megfelel!}$$

A heveder teljes keresztmetszetének képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd}^f = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(30 \cdot 1,2 + 2 \cdot 11,5 \cdot 1,8) \cdot 23,5}{1,0} = 1818,9 \text{ kN}$$

A heveder csavarlyukakkal gyengített szelvényének tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd}^f = 0,9 \cdot \frac{A_{net,hev} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = 0,9 \cdot \frac{57,6 \cdot 36}{1,25} = 1493,0 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}^f = N_{u,Rd}^f = 1493,0 \text{ kN} > F_{Ed,f} = 1314,5 \text{ kN} \rightarrow \text{Az övheveder megfelel!}$$

Gerinc:

$$A_{net,hev} = (29,5 - 4 \cdot 1,8) \cdot 1,0 \cdot 2 = 44,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,g} = A_{gerinc} - 4 \cdot 1,35 \cdot 1,8 = 44,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,hev} = 44,6 \text{ cm}^2 > A_{net,g} = 44,28 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{A gerincheveder megfelel!}$$

A heveder teljes keresztmetszetének képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd}^w = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{29,5 \cdot 1,0 \cdot 2 \cdot 23,5}{1,0} = 1386,5 \text{ kN}$$

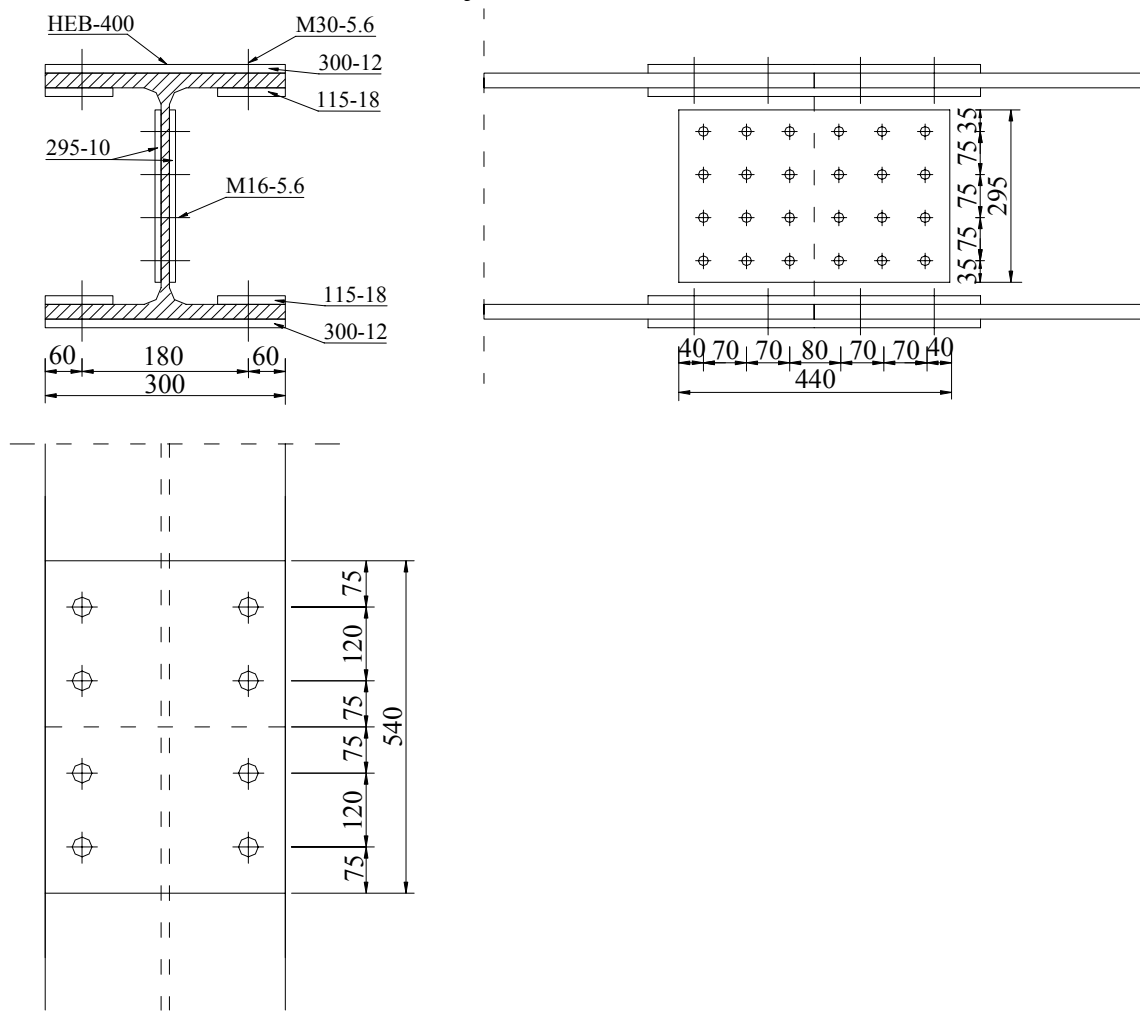
A heveder csavarlyukakkal gyengített szelvényének tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd}^w = 0,9 \cdot \frac{A_{net,hev} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = 0,9 \cdot \frac{44,6 \cdot 36}{1,25} = 1156,0 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}^w = N_{u,Rd}^w = 1156,0 \text{ kN} > F_{Ed,w} = 986,0 \text{ kN} \rightarrow \text{A gerincheveder megfelel!}$$

A kapcsolat geometriája:

A csavarkiosztást a 4.10. ábra mutatja:



4.10. ábra: A kapcsolat geometriája.

4.2.3. Hajlított-nyírt elemek csavarozott kapcsolatai

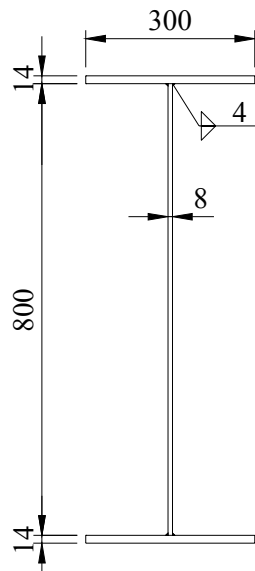
Hajlított-nyírt elemek csavarozott kapcsolataira mutatunk be mintapéldákat a 4.2.1 fejezetben ismertetett méretezési eljárás alkalmazásával. A következő példatípusokat oldjuk meg: hegesztett I-szelvény hevederes illesztése kétszernyírt csavarozott kapcsolattal; szerkezeti elemek (oszlop, gerenda) csuklós illetve nyomatékbíró homloklemezcsatlakozások kapcsolatai.

4.8 Példa

Tervezzük meg az alábbi hegesztett szelvényű hajlított tartó (4.11. ábra) illesztését hevederezett kapcsolattal! A terhelésből számított nyíróerő az illesztés keresztmetszetében $V_{Ed} = 256 \text{ kN}$. Az illesztés legyen teljes szilárdságú, és „A” típusú kapcsolat.

Alapanyag: S355 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 51,0 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 0,81$

Csavarok: 8.8 $f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2$ $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$



4.11. ábra: A tartó geometriája.

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8}{2} = 140,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{140,3}{14} = 10,02 > 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1$$

tehát az öv 3. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 800 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 788,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{788,7}{8} = 98,58 > 83 \cdot \varepsilon = 83 \cdot 0,81 = 67$$

tehát a gerinc is 3. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a teljes keresztmetszet 3. keresztmetszeti osztályú.

A keresztmetszet hajlítási ellenállása:

$$I_{y,el} = \frac{0,8 \cdot 80^3}{12} + 2 \cdot 30 \cdot 1,4 \cdot 40,7^2 = 173278 \text{ cm}^4$$

$$W_{y,el} = \frac{I_{y,el}}{z_{\max}} = \frac{173278}{41,4} = 4185 \text{ cm}^3$$

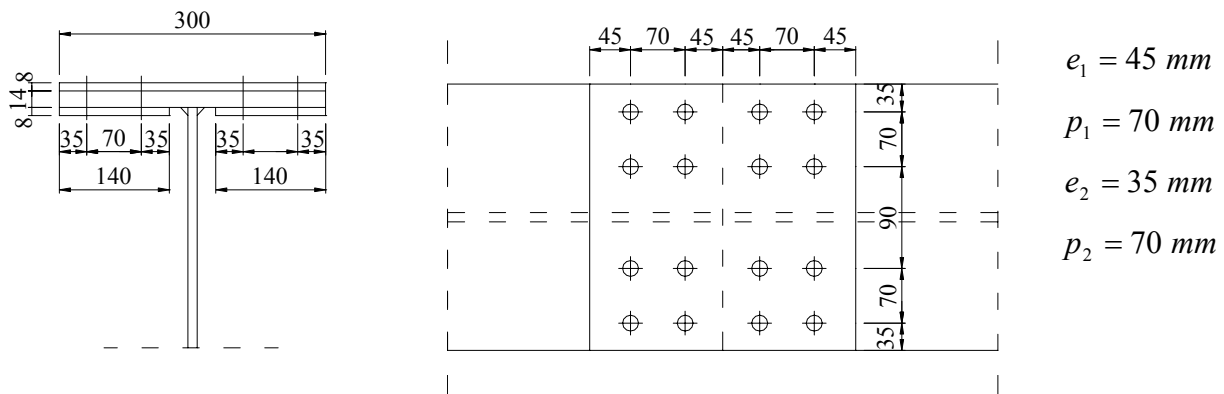
$$M_{b,Rd} = \frac{4185 \cdot 35,5}{1,0} = 148584 \text{ kNcm} = 1486 \text{ kNm}$$

Övlemezek illesztése:

Az övlemezeket a húzási ellenállásukra illesztjük (a kapcsolat teherbírása ennél nagyobb kell legyen). A kapcsolatot külső-belső hevederekkel, kétszer nyírt csavarokkal képezzük ki. A 14 mm lemezvastagsághoz illő M20 csavart alkalmazunk.

Csavaradatok (lsd. 4.1 táblázat) $A = 3,14 \text{ cm}^2$ $d = 20 \text{ mm}$ $d_0 = 22 \text{ mm}$

Csavarok elhelyezése: alapelv, hogy egy keresztmetszetben a lehető legtöbb csavart helyezzünk el! A belső heveder szélessége legfeljebb 140 mm lehet. Ez elegendő ahhoz, hogy a gerinc két oldalán 2-2 csavart tegyünk az övbe. Tétélezzük fel, hogy egymás mögött 2 csavarsor elegendő (lsd. 4.12. ábra).



4.12. ábra: A kapcsolat geometriája.

A szelvény húzási ellenállásának tervezési értéke:

A teljes keresztmetszet képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{30 \cdot 1,4 \cdot 35,5}{1,0} = 1491 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(30 - 4 \cdot 2,2) \cdot 1,4 \cdot 51}{1,25} = 1089,85 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 1089,85 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállása:

Egy csavar nyírási ellenállása (menet nélküli részen):

$$F_{v,Rd} = n \cdot \alpha_v \cdot \frac{A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 80}{1,25} = 241,15 \text{ kN}$$

Egy csavar palástnyomási ellenállása:

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{22} - 1,7 = 2,75 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz.

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 22} = 0,68 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{51} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,68$$

- erő irányában közbenső csavar

a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz.

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,68 \cdot 51 \cdot 2,0 \cdot 1,4}{1,25} = 194,8 \text{ kN}$$

Egy csavarra jutó nyíróerő:

$$F_{Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{m} = \frac{1089,85}{8} = 136,23 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 194,8 \text{ kN}$$

Tehát az öv csavarkapcsolata
megfelelő!

Övhevederek méretei:

$$\text{Külső hevederek: } 300 - 8 \quad A_{n,k} = (30 - 4 \cdot 2,2) \cdot 0,8 = 16,96 \text{ cm}^2$$

$$\text{Belső hevederek: } 2 \times 140 - 8 \quad A_{n,b} = 2 \cdot (14 - 2 \cdot 2,2) \cdot 0,8 = 15,36 \text{ cm}^2$$

$$\sum A_{n,hev} = 16,96 + 15,36 = 32,32 \text{ cm}^2 > A_{n,lem} = (30 - 4 \cdot 2,2) \cdot 1,4 = 29,68 \text{ cm}^2$$

A hevederek az övben szintén megfelelőek!

Gerinclemez illesztése:

Gerinc illesztésére működő igénybevételek:

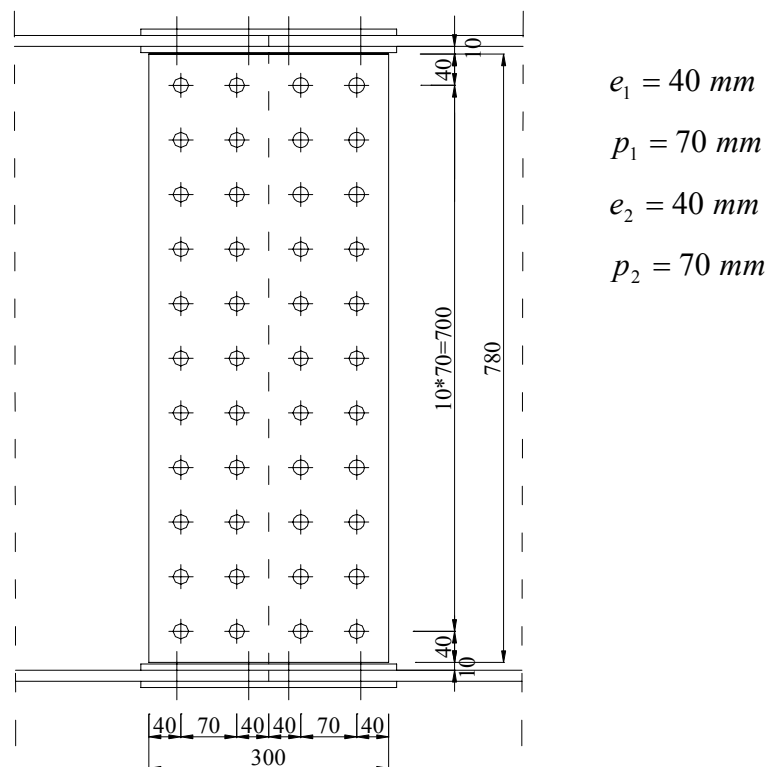
A gerinc viseli a teljes nyíróerőt és a hajlítási ellenállásból a gerincre eső részt. Ez utóbbit közelítőleg a gerinc inerciája arányában oszthatjuk rá.

$$V_{Ed} = 256 \text{ kN}$$

$$M_{G,b,Rd} = M_{b,Rd} \cdot \frac{I_{y,ger}}{I_y} = 1486 \cdot \frac{34133}{173278} = 292,7 \text{ kNm}$$

A gerinc csavarképenek felvétele:

Javasolható két csavaroszlop, egymás alatt a lehető legtöbb csavart elhelyezve, kétoldali hevederezéssel (lsd. 4.13. ábra). Csavarok a gerinc vastagságához illő M16 ($A = 2,01 \text{ cm}^2$), csavarok száma $m = 22 \text{ db}$.



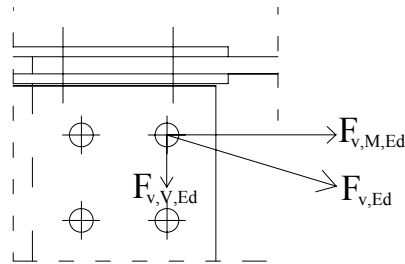
4.13. ábra: A gerinc illesztése.

A legjobban igénybevett csavar kiválasztása, igénybevételei:

A nyíróerőből minden csavar azonos terhet kap, a hajlításból pedig a csavarkép súlypontjától legtávolabbi csavarok kapják a legnagyobb terhelést. A kapcsolatban a jobb felső csavar jutó terheket a 4.14. ábra mutatja.

A legjobban igénybevett csavarra ható nyíróerő a nyírásból (egyenletes erőeloszlást feltételezve):

$$F_{v,V,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} = \frac{256}{22} = 11,64 \text{ kN}$$



4.14. ábra: Egy csavarra jutó erők.

A legjobban igénybevett csavarra ható nyíróerő a nyomatékból: (rugalmas erőeloszlást feltételezve)

$$F_{v,M,Ed} = M_{G,b,Rd} \cdot \frac{r_{\max}}{\sum r_i^2}$$

Alkalmazva a szokásos „magas csavarkép” közelítést: $r \cong z$ ezért:

$$F_{v,M,Ed} = M_{G,b,Rd} \cdot \frac{z_{\max}}{\sum z_i^2} = 29270 \cdot \frac{35}{4 \cdot (7^2 + 14^2 + 21^2 + 28^2 + 35^2)} = 95,03 \text{ kN}$$

A teljes nyíróerő:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,V,Ed}^2 + F_{v,M,Ed}^2} = 95,74 \text{ kN}$$

A legjobban igénybevett csavar ellenállása:

Nyírási ellenállása:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot n \cdot \frac{f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{80 \cdot 2,01}{1,25} = 154,4 \text{ kN}$$

Palástnyomási ellenállása:

A vizsgált csavar erőirányban és merőlegesen is szélső csavar.

k_1 számítása:

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7 = 4,5 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{51} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,74$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 51 \cdot 1,6 \cdot 0,8}{1,25} = 96,61 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$F_{v,Ed} = 95,74 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 96,61 \text{ kN}$$

Tehát a gerinc csavarkapcsolata megfelelő!

Hevederek választása:

Mindkét oldalon $t_{hev} = 6 \text{ mm}$ vastagságú hevedert alkalmazunk.

$$I_{hev} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 78^3}{12} = 47455 \text{ cm}^4 > I_{y,ger} = 34133 \text{ cm}^4$$

A hevederek is megfelelőek!

4.9 Példa

Hajlékony homloklemez-es gerenda-gerenda kapcsolatvizsgálata. Feltételezzük, hogy a kapcsolat merevség és szilárdság szempontjából egyaránt *csuklós*, kialakítását a 4.15. ábra mutatja. A fióktartó szelvénye IPE-300, reakcióereje $F_{Ed} = 60 \text{ kN}$. Vizsgáljuk meg a kapcsolat egyes alkotóelemeinek teherbírását!

$$\text{Alapanyag: S235} \quad f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \quad f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2 \quad \beta_w = 0,8 \quad \alpha_w = 0,6$$

$$\text{Csavarok: M16, 5.6} \rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$f_{yb} = 30,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

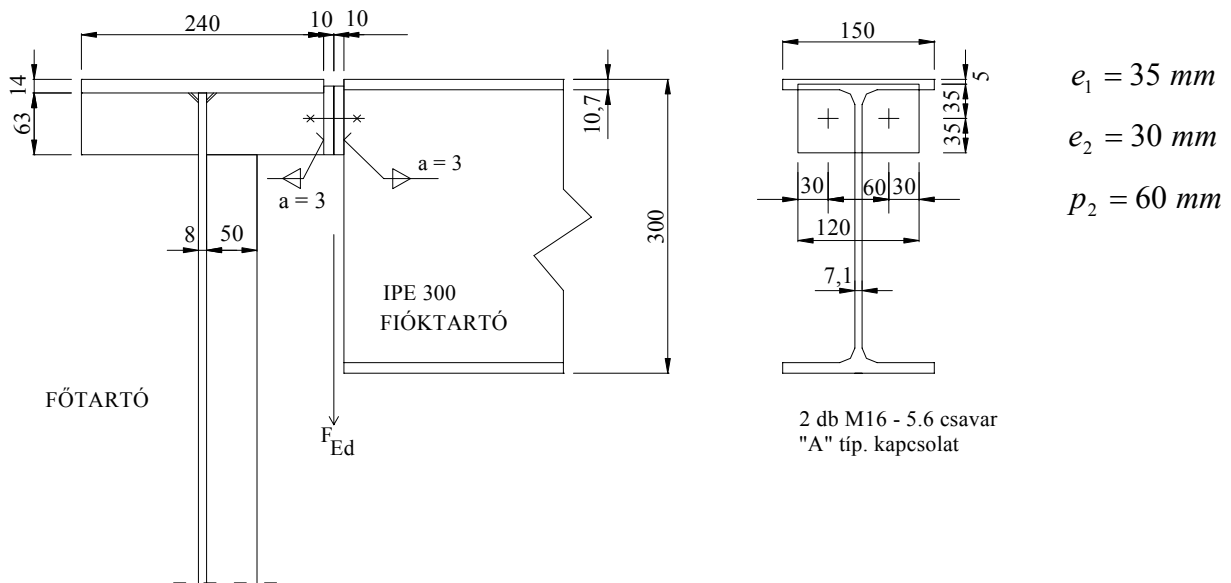
Csavarok vizsgálata:

Nyírási ellenállása:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 48,25 \text{ kN}$$

Palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$



4.15. ábra: A kapcsolat kialakítása.

k_1 számítása:

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{35}{3 \cdot 18} = 0,65 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,39 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,65$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,0}{1,25} = 74,65 \text{ kN}$$

Mértékadó tehát a csavarszár nyírása, a csavarok teherbírása:

$$F_{A,Rd,1} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 48,25 = 96,51 \text{ kN}$$

Hegesztési varratok ellenállása: (Isd. 4.3 Hegesztett kapcsolatok ellenállása)

A homloklemez felső élét bekötő varratot elhanyagoljuk, csak a gerinc varratait vesszük figyelembe. A varratban csak τ_{II} ébred.

$$A_w = 2 \cdot a \cdot 7,0 = 2 \cdot 0,3 \cdot 7,0 = 4,2 \text{ cm}^2$$

$$F_{A,Rd,2} = F_{w,Rd} = A_w \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{4,2 \cdot 36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 87,29 \text{ kN}$$

Fióktartó ellenállása:

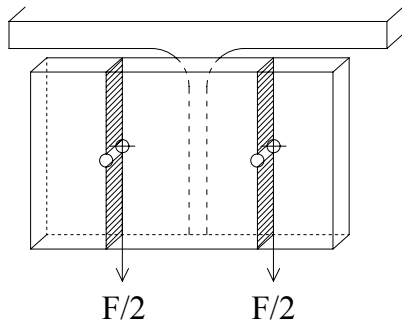
Gerinc nyírás ellenállása: a hegesztési varrat mentén

$$F_{A,Rd,3} = V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0,71 \cdot 7,0 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 67,43 \text{ kN}$$

Homloklemez teherbírása:

A felső öv hatását elhanyagoljuk, úgy tekintjük, mintha csak a gerinchez kapcsolódna a homloklemez

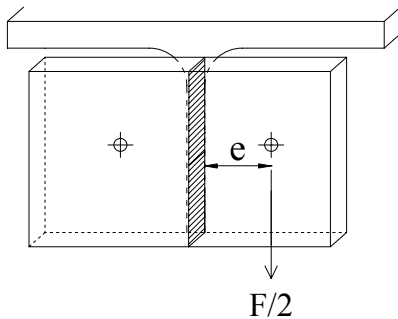
-Homloklemez nyírása



$$F_{A,Rd,4} = 2 \cdot V_{c,Rd,h} = 2 \cdot (7,0 - 1,8) \cdot 1,0 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 141,10 \text{ kN}$$

4.16. ábra: Nyírt keresztmetszet.

-Homloklemez hajlítása



4.17. ábra: Hajlított keresztmetszet.

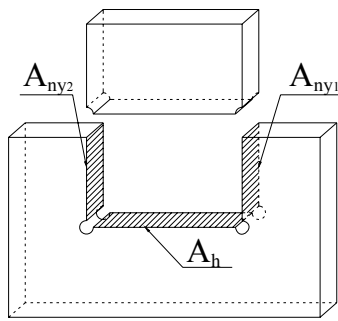
Közelítésképpen 3. keresztmetszeti osztályú homloklemezt feltételezünk

$$e = \frac{6,0}{2} - \frac{0,71}{2} = 2,645 \text{ cm}$$

$$W = W_{el} = 1,0 \cdot \frac{7,0^2}{6} = 8,17 \text{ cm}^3$$

$$F_{A,Rd,5} = 2 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{e \cdot \gamma_{M0}} = 2 \cdot 8,17 \cdot \frac{23,5}{2,645 \cdot 1,0} = 145,17 \text{ kN}$$

- Homloklemez csoportos kiszakadása



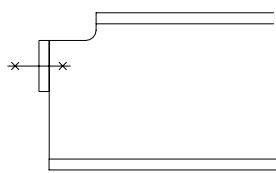
4.18. ábra: Nyírt és húzott keresztmetszetek.

$$A_{ny,1} = A_{ny,2} = (3,5 - 0,9) \cdot 1,0 = 2,6 \text{ cm}^2 \text{ nyírt szakaszok}$$

$$A_h = (6,0 - 1,8) \cdot 1,0 = 4,2 \text{ cm}^2 \text{ húzott szakasz}$$

$$F_{A,Rd,6} = V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_h}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{ny} =$$

$$= \frac{36 \cdot 4,2}{1,25} + \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 2 \cdot 2,6 = 191,51 \text{ kN}$$



4.19. ábra: Alternatív csomópont kialakítás.

Megjegyezzük, hogy a homloklemez vizsgálataiban esetünkben formálisak. Olyan kialakításnál lehet fontos az elvégzésük, ahol a homloklemez nem éri el a fióktartó felső övét

A kapcsolat ellenállása:

Az összes tönkremeneteli módot tekintetbe véve a kapcsolat ellenállását a fióktartó gerincének nyírási ellenállása szabja meg:

$$F_{A,Rd} = F_{A,Rd,min} = 67,43 \text{ kN}$$

A kapcsolat megfelelő, mert

$$F_{Ed} = 60 \text{ kN} < F_{A,Rd} = 67,43 \text{ kN}$$

A kapcsolat főtartó gerenda felőli oldalát vizsgálva megállapítható, hogy mindegyik alkotóelem teherbírása legalább akkora, mint a fióktartó felőli oldalon. (Sőt, a gerinc nyírási ellenállása nagyobb, ha a merevítőborda vastagságát nagyobbra választjuk mint az IPE szelvény gerincéét pl: $t = 8 \text{ mm}$; $t_{IPE} = 7,1 \text{ mm}$.) A kapcsolat tehát így is megfelelő.

4. 10 Példa

Határozzuk meg a 4.20. ábrán látható homloklemez-eszlop-gerenda kapcsolat nyomatéki és nyírási ellenállását! Feltételezzük, hogy a kapcsolat merev, részleges szilárdságú. A felső csavarsor csak a hajlítási ellenállásban vesz részt, nyírást nem kapnak. Az alsó 2 csavar csak a nyírási ellenállásban dolgozik, a hajlításban nem.

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 10.9 $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$ $d_m = 38,8 \text{ mm}$

$A = 4,52 \text{ cm}^2$ $A_s = 3,53 \text{ cm}^2$

$f_{yb} = 90,0 \text{ kN/cm}^2$ $f_{ub} = 100,0 \text{ kN/cm}^2$

Homloklemez geometriai adatai:

$b_p = 300 \text{ mm}$ $t_p = 25 \text{ mm}$ $e_1 = 74 \text{ mm}$ $w = 150 \text{ mm}$

Oszlop adatai: HEB 500 melegen hengerelt szelvény

gerinc magasság: $b_{wc} = 444 \text{ mm}$ gerincvastagság: $t_{wc} = 14,5 \text{ mm}$

öv szélesség: $b_{fc} = 300 \text{ mm}$ öv vastagság: $t_{fc} = 28 \text{ mm}$

lekerekítési sugár: $r_c = 27 \text{ mm}$ km. terület: $A = 239 \text{ cm}^2$

nyírt km. területe: $A_{vc} = 90,18 \text{ cm}^2$

Gerenda adatai: HEA 300 melegen hengerelt szelvény

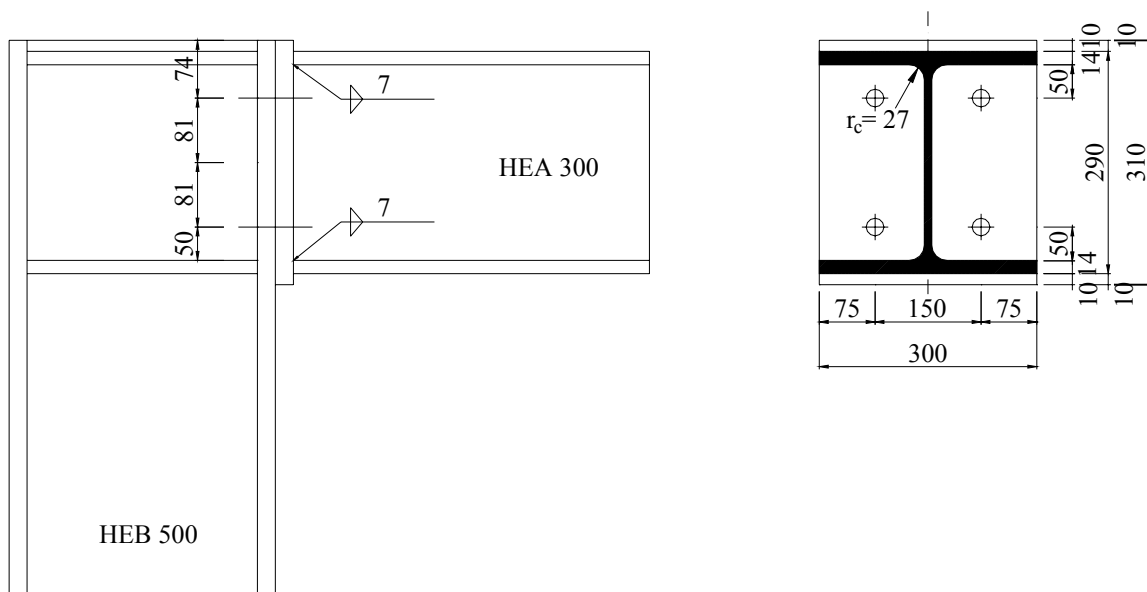
gerinc magasság: $b_{wb} = 262 \text{ mm}$ gerincvastagság: $t_{wb} = 8,5 \text{ mm}$

öv szélesség: $b_{fb} = 300 \text{ mm}$ öv vastagság: $t_{fb} = 14 \text{ mm}$

lekerekítési sugár: $r_c = 27 \text{ mm}$ km. modulus: $W_{pl,y,b} = 1384 \text{ cm}^3$

Varratok:

gerenda gerincén $a_w = 4 \text{ mm}$ másutt $a_f = 7 \text{ mm}$ kétoldali sarokvarratok.



4.20. ábra: A kapcsolat oldalnézete és a homloklemez nézete a gerenda felől.

Kapcsolat alkotóelemeinek ellenállása:

Oszlop gerinclemeze nyírásra:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 23,5 \cdot 90,18}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 1101 \text{ kN}$$

Oszlop gerinclemeze nyomásra:

A merevítő borda mérete megegyezik a gerenda övének méreteivel, az oszlop gerincének vastagsága nagyobb mint a gerendáé, ezért nem lehet mértékadó.

Oszlop gerinclemeze húzásra:

A merevítő borda mérete megegyezik a gerenda övének méreteivel, az oszlop gerincének vastagsága nagyobb mint a gerendáé, ezért nem lehet mértékadó.

Oszlop hajlított övlemeze:

$\ell_{effektív}$ hosszak meghatározása egyedi csavartönkretenetel esetére

-Segédmennyiségek

$$m = \frac{w}{2} - \frac{t_{wc}}{2} - 0,8 \cdot r_c = \frac{150}{2} - \frac{14,5}{2} - 0,8 \cdot 27 = 46,15 \text{ mm}$$

$$n = \min(1,25 \cdot m; e) = \min(1,25 \cdot 46,15 = 57,69 ; 75) = 57,69 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_x - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 42,08 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46,15}{46,15 + 75} = 0,381$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{42,08}{46,15 + 75} = 0,348$$

α értékét grafikonból kell megállapítani, esetünkben $\alpha = 6,8$ (lsd. 4.21. ábra grafikont).

- $\ell_{effektív}$ számítása:

nem kör alakú töréskép esetén: $l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 6,8 \cdot 46,15 = 314 \text{ mm}$

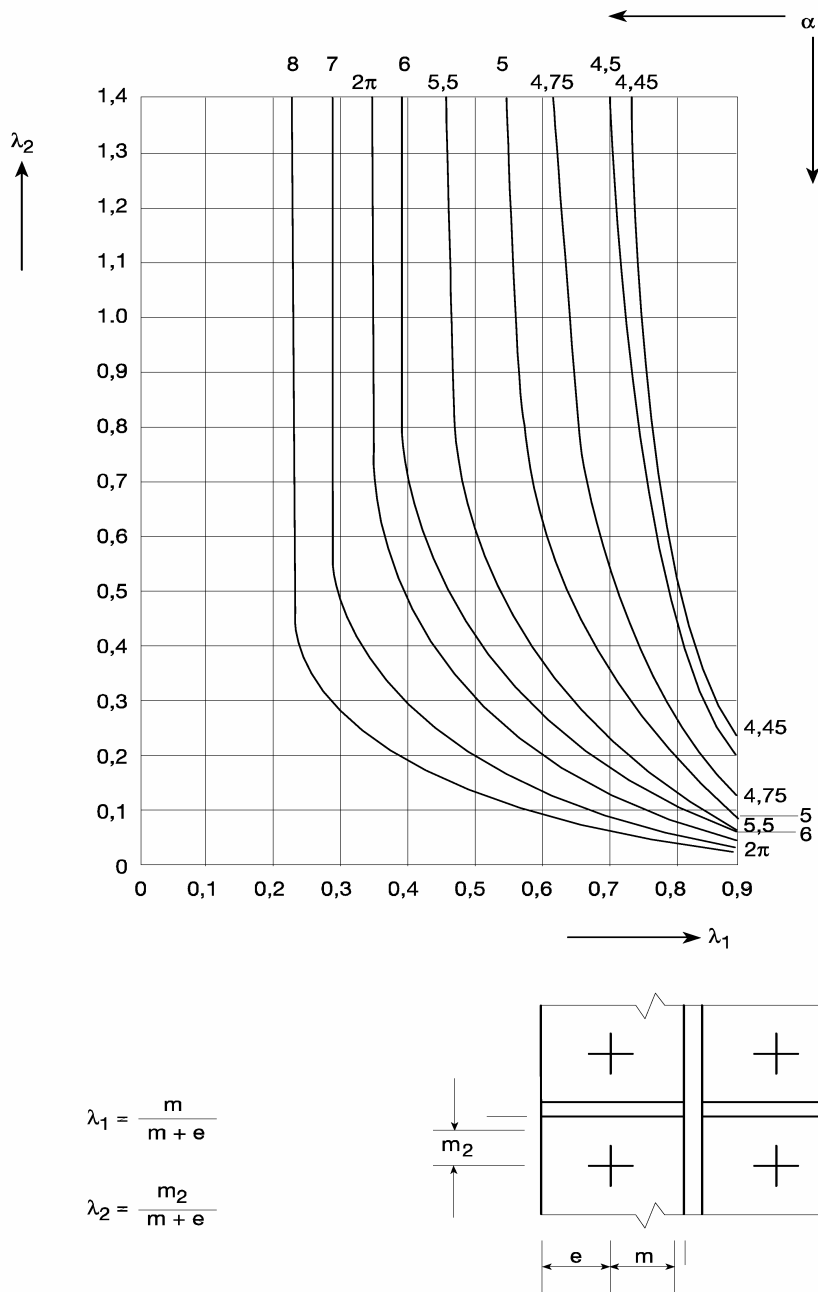
kör alakú töréskép esetén: $l_{eff,cp} = 2\pi \cdot m = 290 \text{ mm}$

- $\ell_{effektív}$ számítása „T” kapcsolat 1. tönkreteneteli módjához:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc} ; l_{eff,cp}) = 290 \text{ mm}$$

- $\ell_{effektív}$ számítása „T” kapcsolat 2. tönkreteneteli módjához:

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 314 \text{ mm}$$



4.21. ábra: α tényező merevített T-kapcsolatok effektív hosszának számításához.

Húzott csavarok ellenállásának számítása:

-1 csavar húzásra:

$$F_{t_z, Rd} = 0,9 \frac{A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{3,53 \cdot 100}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

-1 csavar kigombolódásra:

$$B_{p, Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot \min(t_{fc}; t_p) \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 3,88 \cdot \min(2,8; 2,5) \cdot 36}{1,25} = 526,6 \text{ kN}$$

-Felső csavarsor húzási ellenállása:

$$F_{t,Rd} = m \cdot \min(F_{t,Rd} ; B_{p,Rd}) = 2 \cdot \min(254,16 ; 526,6) = 508,32 \text{ kN}$$

Oszlop övének mint „T”-kapcsolatnak az ellenállása:

-Övlemez határnyomatékai:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 29 \cdot 2,8^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1335 \text{ kNcm} = 13,35 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 31,4 \cdot 2,8^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1446 \text{ kNcm} = 14,46 \text{ kNm}$$

-„T” kapcsolat 1. tönkremeneteli módja (övlemez teljes megfolyása):

$$F_{t1,Rd} = 4 \cdot \frac{M_{pl,1,Rd}}{m} = 4 \cdot \frac{1335}{4,615} = 1158 \text{ kN}$$

-„T” kapcsolat 2. tönkremeneteli módja (övlemez és csavarok együttes tönkremenetele):

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1446 + 5,769 \cdot 508,32}{4,61 + 5,769} = 561,2 \text{ kN}$$

-„T” kapcsolat 3. tönkremeneteli módja: (csavarok szakadása) :

$$F_{t3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 508,32 \text{ kN}$$

Oszlop övének hajlítási ellenállása:

$$F_{fc,b,Rd} = \min(F_{t1,Rd} ; F_{t2,Rd} ; F_{t3,Rd}) = 508,32 \text{ kN}$$

Homloklemez hajlítási ellenállása:

$l_{effektív}$ hosszak meghatározása egyedi csavartönkremenetel esetére

-Segédmenyiségek

$$m = \frac{w}{2} - \frac{t_{wb}}{2} - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = \frac{150}{2} - \frac{8,5}{2} - 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 66,25 \text{ mm}$$

$$n = \min(1,25 \cdot m ; e) = \min(1,25 \cdot 66,25 = 82,81 ; 75) = 75 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_x - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 42,08 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{66,25}{66,25 + 75} = 0,469$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{42,08}{66,25 + 75} = 0,298$$

α értékét grafikonból kell megállapítani, esetünkben $\alpha = 6,5$ (lsd. 4.21. ábra grafikont)

- $\ell_{\text{effektív}}$ számítása:

nem kör alakú töréskép esetén: $l_{\text{eff},nc} = \alpha \cdot m = 6,5 \cdot 66,25 = 430 \text{ mm}$

kör alakú töréskép esetén: $l_{\text{eff},cp} = 2\pi \cdot m = 416 \text{ mm}$

- $\ell_{\text{effektív}}$ számítása „T” kapcsolat 1. tönkremeneteli módjához:

$$l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff},nc} ; l_{\text{eff},cp}) = 416 \text{ mm}$$

- $\ell_{\text{effektív}}$ számítása „T” kapcsolat 2. tönkremeneteli módjához:

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},nc} = 430 \text{ mm}$$

Húzott csavarok ellenállásának számítása:

-Felső csavarsor húzási ellenállása (Isd. fent):

$$F_{t,Rd} = 508,32 \text{ kN}$$

Homloklemeznek mint „T”-kapcsolatnak az ellenállása:

-Homloklemez határnyomatékai:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{\text{eff},1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 416 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1528 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{\text{eff},2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 43 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1581 \text{ kNcm}$$

-„T” kapcsolat 1. tönkremeneteli módja (homloklemez teljes megfolyása):

$$F_{t1,Rd} = 4 \cdot \frac{M_{pl,1,Rd}}{m} = 4 \cdot \frac{1528}{6,62} = 922,8 \text{ kN}$$

-„T” kapcsolat 2. tönkremeneteli módja (homloklemez és csavarok együttes tönkremenetele):

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1581 + 7,5 \cdot 508,32}{6,62 + 7,5} = 493,8 \text{ kN}$$

-„T” kapcsolat 3. tönkremeneteli módja: (csavarok szakadása) :

$$F_{t3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 508,32 \text{ kN}$$

Homloklemez hajlítási ellenállása:

$$F_{p,b,Rd} = \min(F_{t1,Rd} ; F_{t2,Rd} ; F_{t3,Rd}) = 493,8 \text{ kN}$$

Gerenda öve és gerince nyomásban:

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1384 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 32524 \text{ kNcm}$$

$$F_{c,b,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}} = \frac{32524}{29 - 1,4} = 1178 \text{ kN}$$

Gerenda gerince húzásban:

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff,1} = 416 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{41,6 \cdot 0,85 \cdot 23,5}{1,0} = 831,2 \text{ kN}$$

Csavarok húzásban:

A csavarok húzási ellenállását a homloklemezek ellenállásának számításakor már figyelembe vettük, ezért a 3.8 komponens vizsgálata ki is hagyható

A kapcsolat nyomatéki ellenállása:

A felső csavarsor határereje

$$F_{t,Rd,1} = \min(V_{wp,Rd} ; F_{b,fc,Rd} ; F_{p,b,Rd} ; F_{c,b,Rd} ; F_{t,wb,Rd}) = 493,8 \text{ kN}$$

a csavarsor erőkarja

$$h_{r1} = h_b - t_{fb} - e_x - \frac{t_{fb}}{2} = 29 - 1,4 - 5 - \frac{1,4}{2} = 21,9 \text{ cm}$$

A kapcsolat nyomatéki ellenállása:

$$M_{Rd} = \sum F_{t,Rd,i} \cdot h_{ri} = 493,8 \cdot 21,9 = 10814 \text{ kNcm} = 108,14 \text{ kNm}$$

A kapcsolat nyírási ellenállása:

Alsó csavarsor nyírási ellenállása:

$$F_{V,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot d^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 100 \cdot 2,4^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{1,25} = 434,3 \text{ kN}$$

Alsó csavarsor palástnyomási ellenállása:

Mindkét csavar mind erőirányban, mind arra merőlegesen szélső csavar.

k₁ számítása:

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{75}{26} - 1,7 = 6,3 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{74}{3 \cdot 26} = 0,949 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2,78 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,949$$

A palástnyomási ellenállás

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,949 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,5}{1,25} = 820 \text{ kN}$$

Kapcsolat ellenállása nyírásra:

$$V_{Rd} = \min(F_{V,Rd}; F_{b,Rd}) = 434,3 \text{ kN}$$

4.3. Hegesztett kapcsolatok ellenállása

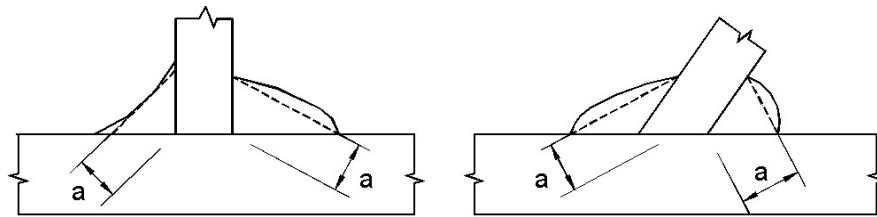
4.3.1. Hegesztési varratok méretezési elvei

Hegesztési varratok tervezésekor általában be kell tartani bizonyos szabályokat, amelyek többnyire kapcsolatban vannak az alkalmazott számítási modell érvényességi feltételeivel. Ezek a feltételek részint arra vonatkoznak, hogy milyen esetben milyen varratot szabad alkalmazni, részint pedig arra, hogy az alkalmazott varratot hogyan lehet, illetőleg kell a számítások során figyelembe venni.

A varrat egyik alapvető mérete az úgynevezett *hasznos méret* vagy *gyökméret* (jele: a). Ennek felvételére a következő szabályok vonatkoznak:

- teljes beolvadású tompavarrat esetén az a méret a vékonyabbik kapcsolt elem vastagságával egyezik meg;
- részleges beolvadású tompavarrat esetén az a méret a megbízhatóan elérhető beolvadási mélységgel egyezik meg;
- sarokvarrat esetén az a varratméret a varrat keresztmetszete mint háromszög harmadik (a nem a kapcsolt lemezekre eső) oldalához tartozó magasságának hosszával egyezik meg; ha e harmadik oldal homorú vagy domború, akkor az így kiadódó síkidomba írható háromszög magasságának hosszát kell meghatározni (4.22. ábra).

Sarokvarrat esetén a hasznos méretnek legalább 3 mm-nek kell lennie (ez azt jelenti, hogy az ennél kisebb varratok nem vehetők figyelembe teherhordó varratként).



4.22. ábra: A sarokvarrat hasznos mérete.

A varrat figyelembe veendő hosszára vonatkozóan a szabvány azt mondja, hogy azt a hosszt szabad figyelembe venni, amelyen biztosan *teljes méretű* lesz a varrat. Ez azt jelenti, hogy ha a varratvégeken kráterképződés várható, akkor az ezek által lefedett hosszt nem szabad számításba venni hasznos hosszként. A kráter hossza a varrat hasznos méretével megegyező hosszra vehető fel.

A varrathosszra vonatkozó másik előírás, hogy 30 mm-nél, illetőleg $6a$ -nál rövidebb varratot erőátadás szempontjából nem szabad figyelembe venni.

Ugyancsak a varrathosszal függ össze az az előírás, mely szerint „hosszú varratok” esetén (a hosszú kapcsolatokkal analóg módon, az ott részletezett okok miatt, lsd. 4.2.1. szakasz), azaz azon varratok esetén, amelyeknek L_j hossza $150a$ -nál nagyobb, a varrat ellenállását csökkenteni kell a következő tényezővel:

$$\beta_{Lw,1} = 1,2 - \frac{0,2L_j}{150a}; \text{ de } \beta_{Lw,1} \leq 1,0$$

Az 1,7m-nél hosszabb varratok esetén ez a csökkentő tényező a következő:

$$\beta_{Lw,2} = 1,1 - \frac{L_w}{17}; \text{ de } 0,6 \leq \beta_{Lw,2} \leq 1,0,$$

ahol L_w a varrat hossza méterben.

Egyszerűsített méretezési módszer

A hegesztési varratok méretezésére az Eurocode 3 két módszert ad meg, amelyek egymással egyenrangúak. Az első módszert a továbbiakban egyszerűsített méretezési módszernek, a másodikat pedig általános méretezési módszernek fogjuk nevezni.

Mint nevéből is következik, az egyszerűsített módszert egyszerűbb használni, de hátránya, hogy az ily módon méretezett varratok kicsit nagyobbak lesznek, mint az általános méretezési módszer alapján tervezettek. A módszer használata során azt kell kimutatni, hogy a varrat egységnyi hosszára eső $F_{w,Ed}$ [kN/m] fajlagos erő (igénybevétel) nem haladja meg a varrat $F_{w,Rd}$ fajlagos ellenállását.

A varrat egységnyi hosszára eső $F_{w,Ed}$ fajlagos erőt egyenletes varratfeszültség-eloszlás esetén a működő külső erő és a varrathossz hányadosaként számítjuk, más esetekben pedig az elemi szilárdságtan megszokott eszközeivel, mintha eredő feszültséget számítanánk, de a varrat szélességi méretével, az a hasznos varratmérettel (gyökmérettel) nem osztunk.

A varrat $F_{w,Rd}$ fajlagos ellenállását a következő képlet adja:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a$$

ahol a a varrat gyökmérete, míg $f_{vw,d}$ a varrat nyírószilárdsága, amely a következőképpen számítható:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Ez utóbbi összefüggésben f_u az alapanyag szakítószilárdsága (értékét lsd. a 2.5. fejezetben), γ_{M2} a képlékeny töréshez tartozó biztonsági tényező (szabványban ajánlott értéke 1,25), β_w pedig az anyagminőségtől függő korrekciós tényező, amelynek értékét a 4.3. táblázat adja meg. Az előző képletekből levonható az a lényeges következtetés, hogy a varrat ellenállása *nem függ attól, hogy a rá működő erő milyen irányú.*

Anyagminőség	β_w értéke
S235	0,80
S275	0,85
S355	0,90
S420	1,00
S460	1,00

4.3. táblázat: A β_w korrekciós tényező értéke hegesztett kötések vizsgálatához.

Általános méretezési módszer

Az általános méretezési módszer az előzőnél kevésbé egyszerű, azonban általában kisebb varratméretet eredményez (és az sem lényegtelen szempont, hogy a Magyar Szabvány, így a magyar mérnöktársadalom gondolkodásmódjához is közelebb áll).

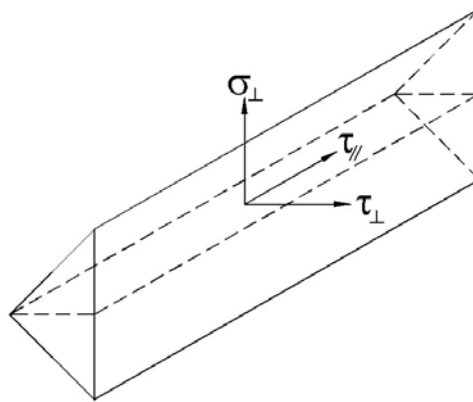
E módszer során a varrat egyes pontjaiban kialakuló eredő feszültséget (mely nem más, mint az egyszerűsített módszerben meghatározott egységhosszra jutó erő és a varrat a hasznos méretének hányadosa) σ_{\perp} , τ_{\perp} és τ_{\parallel} komponensekre kell bontani, majd a következő két feltétel teljesülését kell kimutatni:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

A komponensekre bontáshoz előbb meg kell határozni a varrat középsíkját. A középsík tompavarrat esetén a kapcsolt lemezre merőleges sík, sarokvarrat esetén pedig a varratkeresztmetszetnek mint háromszögnek a harmadik (lemezzel nem érintkező) oldalához² tartozó magassága által kijelölt sík (4.23. ábra). A három feszültségkomponens ekkor lényegében az eredő feszültség három komponensét jelenti a középsíkra vonatkoztatva: σ_{\perp} a középsíkra merőleges komponens, τ_{\perp} a középsíkba eső, a varrat hossz tengelyére merőleges komponens, τ_{\parallel} pedig a középsíkba eső, a varrat hossz tengelyével párhuzamos komponens.

Az összefüggések tüzetesebb vizsgálata alapján megállapítható, hogy $\sigma_{\perp} = 0$ esetén az egyszerűsített módszer és az általános módszer ugyanarra az ellenőrzési képletre vezet, míg $\sigma_{\perp} \neq 0$ esetén az egyszerűsített módszer többletbiztonságot tartalmaz az általános módszerhez képest. A második ellenőrzési képlet az esetek túlnyomó többségében nem mértékadó.



4.23. ábra: A sarokvarratra ható eredő feszültség három komponensének értelmezése.

² Ha a sarokvarrat harmadik felülete homorú vagy domború, akkor a beírt háromszög oldalához tartozó magasságot kell tekinteni. Lényegében tehát ugyanarról a magasságról van szó, mint amely az a hasznos varratméretet meghatározza.

4.3.2. Húzott/nyomott elemek hegesztett kapcsolatai

Ebben a fejezetben mintapéldákat oldunk meg a 4.3.1 fejezetben ismertetett méretezési eljárás alkalmazásával húzott/nyomott elemek közötti hegesztett kapcsolatok kialakítására. A következő példatípusokat mutatjuk be sarok- illetve tompavarratos kialakítás esetén: csomólemez felhegesztése; átlapolt illesztések; rúdszelvény bekötése csomólemezhez.

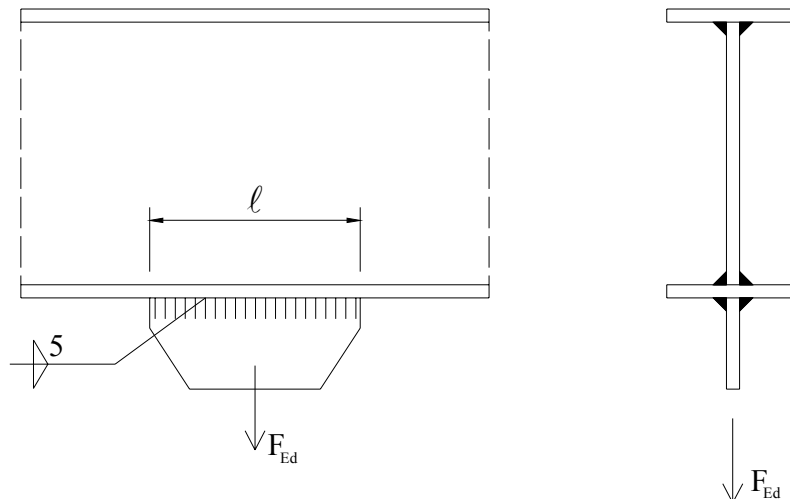
4.11. Példa

Egy gerenda alsó övére $t = 10 \text{ mm}$ vastagságú csomólemezt hegesztünk $a = 5 \text{ mm}$ méretű sarokvarratokkal (4.24. ábra). A csomólemezt $F_{Ed} = 150 \text{ kN}$ teherrel kívánjuk terhelni.

Állapítsuk meg a szükséges varrathosszúságot!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$

A kapcsolat geometriája:



4.24. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A varrat fajlagos tervezési ellenállása – Egyszerűsített méretezési módszer:

A varrat tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Egy sarokvarrat fajlagos tervezési ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

A varratra működő legnagyobb fajlagos erő:

$$F_{w,Ed} = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot \ell}$$

Megjegyzés: A sarokvarratok nem hagyhatók abba az elem sarkainál, hanem vissza kell fordulniuk a sarok körül. Ezzel azonban nem számolunk.

A varrathossz meghatározása:

A varrat megfelel, ha $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$, tehát:

$$\frac{F_{Ed}}{2 \cdot \ell} \leq 10,39$$

$$\frac{150}{2 \cdot \ell} \leq 10,39$$

$$\ell \geq \frac{150}{2 \cdot 10,39}$$

$$\ell \geq 7,21 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 8 \text{ cm}$$

A varrathossz meghatározása – Általános méretezési módszer:

$$A_w = 2 \cdot a \cdot \ell = 2 \cdot 0,5 \cdot \ell$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{F_{Ed}}{A_w} \cos 45^\circ = \frac{150}{2 \cdot 0,5 \cdot \ell} \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad \tau_{\parallel} = 0$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2}\right)^2 + 3\left(\frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2}\right)^2} \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$2 \cdot \frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2} \leq 36$$

$$\ell \geq 5,89 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 6 \text{ cm}$$

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2} \leq \frac{36}{1,25} = 28,8$$

$$\ell \geq 3,68 \text{ cm}$$

A szükséges varrathosszt természetesen az 1. feltételből kapjuk.

Megjegyzés:

A feladatban nincs szükség a tervezési ellenállás redukálására, mivel a varrat hossza kisebb, mint $150 a$, ill. 1,7 m.

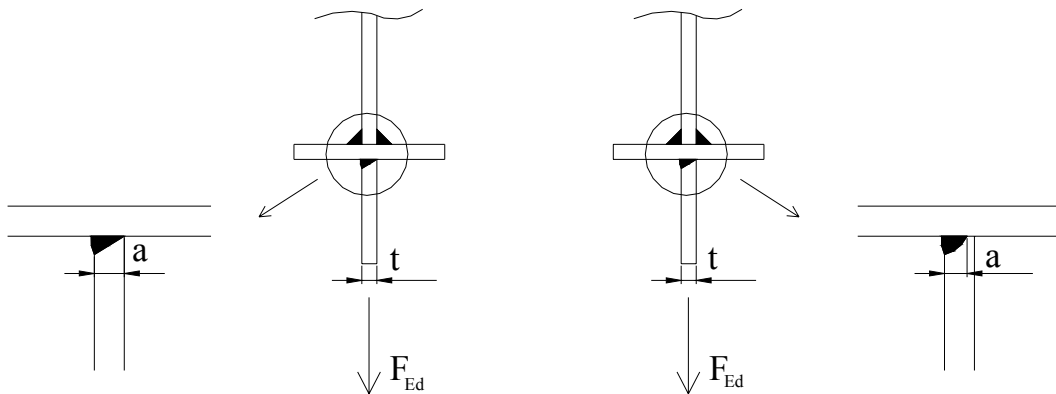
4.12. Példa

Egy gerenda alsó övére $t = 8 \text{ mm}$ vastagságú csomólemezt hegesztünk fél V varrattal (4.25. ábra). A csomólemezt $F_{Ed} = 150 \text{ kN}$ nagyságú erővel terhelve mekkora varrathosszra van szükség ha a varrat

- 1) teljes beolvadású tompavarrat ($a = t$)?
- 2) részleges beolvadású tompavarrat (legyen $a = 5 \text{ mm}$)?

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$

A kapcsolat geometriája:



4.25. ábra: A kapcsolat kialakítása.

1) eset:

Teljes beolvadású tompavarrat esetén az alapanyagot kell vizsgálni!

2) eset:

A varrat fajlagos tervezési ellenállása – Egyszerűsített méretezési módszer:

A részleges beolvadás következtében a varratméret $a = 5 \text{ mm}$.

A varrat tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A tompavarrat fajlagos tervezési ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

A varrathossz meghatározása – 2). eset:

A varrat megfelel, ha $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$, tehát:

$$\frac{150}{\ell} \leq 10,39$$

$$\ell \geq 14,44 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 15 \text{ cm}$$

A varrathossz meghatározása – Általános méretezési módszer:

$$A_w = a \cdot \ell = 0,5 \cdot \ell$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{Ed}}{A_w} = \frac{150}{0,5 \cdot \ell}; \quad \tau_{\perp} = \tau_{\parallel} = 0$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{150}{0,5 \cdot \ell}\right)^2} \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$\frac{150}{0,5 \cdot \ell} \leq 36$$

$$\ell \geq 8,33 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 9 \text{ cm}$$

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\frac{150}{0,5 \cdot \ell} \leq \frac{36}{1,25} = 28,8$$

$$\ell \geq 10,42 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 11 \text{ cm}$$

A szükséges varrathosszt természetesen a 2. feltételből kapjuk.

Megjegyzések:

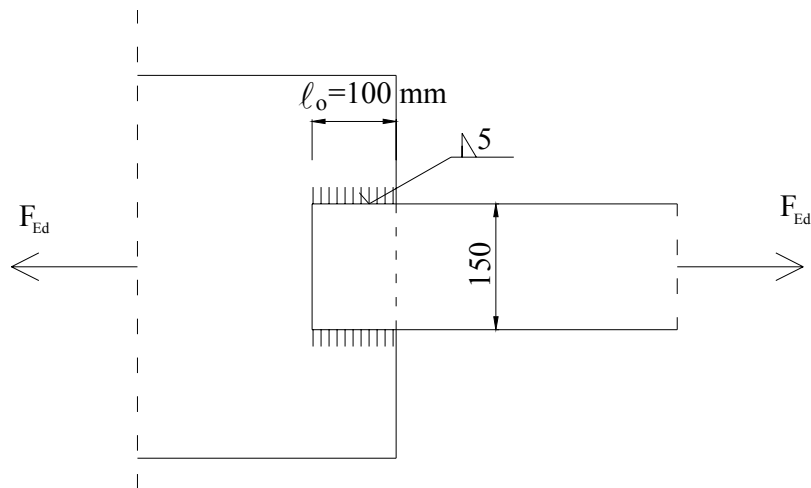
Részleges beolvadású tompavarrat alkalmazását speciális szerkezeti szempontok indokolhatják. Fáradásnak kitett szerkezeteknél tompavarrat alkalmazása előnyös lehet.

4.13. Példa

Vizsgáljuk meg, hogy megfelel-e a 4.26. ábra szerinti oldal-sarokvarratos rálapolás $F_{Ed} = 260 \text{ kN}$ erő esetén! A varrat mérete $a = 5 \text{ mm}$.

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$

A kapcsolat geometriája:



4.26. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A varrat fajlagos tervezési ellenállása – Egyszerűsített méretezési módszer:

A varrat tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A varrat fajlagos tervezési ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

A varrat tervezési ellenállása:

$$F_{Rd} = F_{w,Rd} \cdot \Sigma \ell = 10,39 \cdot 2 \cdot 10 = 207,8 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

A varrat megfelel, ha $F_{Ed} \leq F_{Rd}$, ami ebben az esetben nem teljesül (125%-os „kihasználtság”).

Ellenőrzés a második méretezési módszer alapján – Általános eljárás:

$$\tau_{II} = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot \ell \cdot a} = \frac{260}{2 \cdot 10 \cdot 0,5} = 26,0 \text{ kN/cm}^2; \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{II} = \sqrt{3} \cdot 26,0 = 45,0 \text{ kN/cm}^2 > \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Nem felel meg}$$

Megjegyzés:

Mivel csak τ_{II} feszültségösszetevő alakul ki, a két módszer azonos eredményt ad.

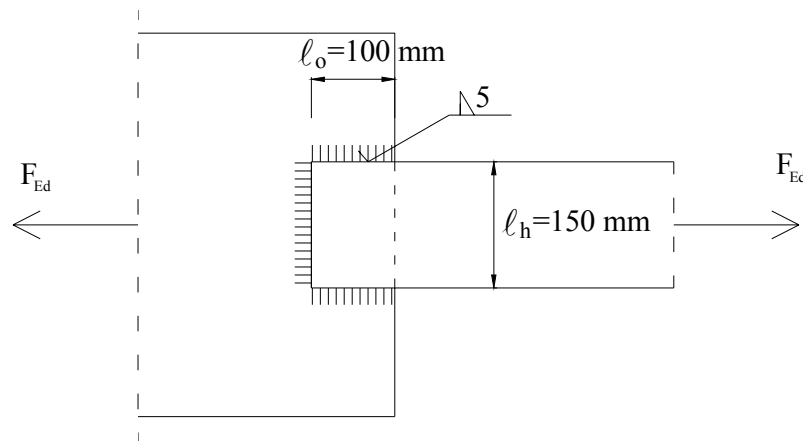
4.14. Példa

Vizsgáljuk meg a 4.27. ábra szerinti oldal- és homlokvarratos rálapolást $F_{Ed} = 260 \text{ kN}$ erő esetén! A varrat mérete $a = 5 \text{ mm}$.

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$

Az oldal és homlokvarratok teherbírása összegezhető, amennyiben kielégítik a szerkesztési követelményeket.

A kapcsolat geometriája:



4.27. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A varrat fajlagos tervezési ellenállása – Egyszerűsített méretezési módszer:

A varrat tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A varrat fajlagos tervezési ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

A varrat tervezési ellenállása:

$$F_{Rd} = F_{w,Rd} \cdot \Sigma \ell = 10,39 \cdot (2 \cdot 10 + 15) = 363,65 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd}, \text{ tehát a kapcsolat megfelel.}$$

A varratkép ellenőrzése – Általános eljárás:

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Határozzuk meg az oldalsarokvarrat ellenállását:

Az oldalvarratban csak τ_{II} feszültség lép fel.

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{II} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\tau_{II} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A oldalsarokvarrat tervezési ellenállása:

$$F_{w,Rd}^o = f_{vw,d} \cdot a \cdot \Sigma \ell = 20,78 \cdot 0,5 \cdot (10 + 10) = 207,8 \text{ kN}$$

A homlokvarratokra hárítandó erő:

$$F_h = F_{Ed} - F_{w,Rd}^o = 260 - 207,7 = 52,2 \text{ kN}$$

A homlokvarrat ellenőrzése:

A homlokvarratban σ_{\perp} és τ_{\perp} feszültség lép fel.

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_h}{\Sigma a \cdot \ell} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{52,2}{0,5 \cdot 15} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 4,92 \text{ kN/cm}^2; \quad \tau_{II} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{4,92^2 + 3 \cdot 4,92^2} = 9,84 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25} = 36,0 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel!}$$

2. feltétel:

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$4,92 \leq \frac{36}{1,25} = 28,8 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel!}$$

A hegesztett kapcsolat tehát az összes számítás szerint megfelel.

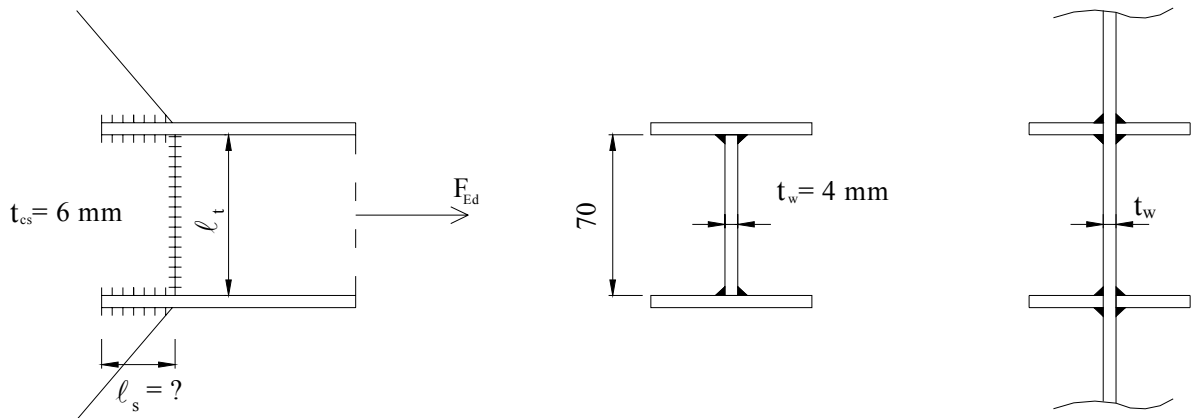
4.15. Példa

Egy csomólemmezhez hegesztett I-szelvényt kapcsolunk együttdolgozó tompa- és oldalvarratokkal (4.28. ábra). Az I-szelvényre $F_{Ed} = 170 \text{ kN}$ húzóerő hat. Állapítsuk meg az $a = 3 \text{ mm}$ sarokvarratok szükséges hosszát!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$

A feladatot az egyszerűsített méretezési módszerrel oldjuk meg. (Ha az általános méretezési módszerrel csinálnánk, gazdaságosabb lenne.)

A kapcsolat geometriája:



4.28. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A varratok fajlagos tervezési ellenállása:

A varratok tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A varratok fajlagos tervezési ellenállása:

- Sarokvarratok

$$F_{w,Rd}^s = f_{vw,d} \cdot a_s = 20,78 \cdot 0,3 = 6,23 \text{ kN/cm}$$

- Tompavarrat

$$F_{w,Rd}^t = f_{vw,d} \cdot a_t = 20,78 \cdot 0,4 = 8,31 \text{ kN/cm}$$

A tompavarrat ellenállása:

$$F_{Rd}^t = F_{w,Rd}^t \cdot \ell_t = 8,31 \cdot 7,0 = 58,17 \text{ kN}$$

A sarokvarratoknak az F_{Ed} erő és a tompavarrat ellenállásának különbségét kell felvenniük.

$$F_{Ed}^s = F_{Ed} - F_{Rd}^t = 170 - 58,17 = 111,83 \text{ kN}$$

Sarokvarrat hosszának meghatározása:

A varrat megfelel, ha $F_{Ed}^s \leq F_{Rd}^s$, tehát:

$$F_{w,Rd}^s \cdot 2 \cdot 4 \cdot \ell_s \cdot a_s \geq F_{Ed}^s$$

$$6,23 \cdot 8 \cdot \ell_s \cdot 0,3 \geq 111,83$$

$$\ell_s \geq \frac{111,83}{6,23 \cdot 8 \cdot 0,3} = 7,48 \text{ cm}$$

$$\ell_{alk} = 8 \text{ cm}$$

Megjegyzés:

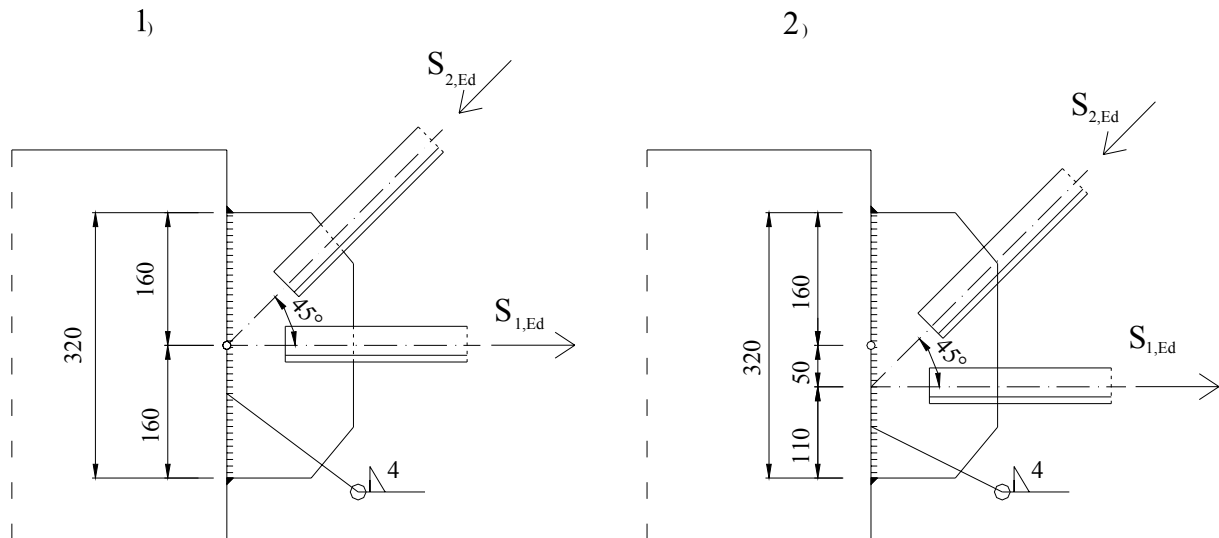
A sarokvarratok nem hagyhatók abba az elem sarkainál, hanem vissza kell fordulniuk a sarok körül.

4.16. Példa

Ellenőrizzük a rácsos tartó csomólemezt bekötő kétoldali sarokvarratot ($a = 4 \text{ mm}$, $\ell = 320 \text{ mm}$ lsd.4.29. ábra), ha $S_{1,Ed} = 288 \text{ kN}$ és $S_{2,Ed} = 143 \text{ kN}$!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$

A kapcsolat geometriája:



4.29. ábra: A kapcsolat kialakítása.

A vázolt esetek között az a különbség, hogy az első esetben a bekötés központos, a második esetben pedig külpontos, emiatt a két esetben eltérő lesz a feszültségeloszlás.

1) eset:

A varrat fajlagos tervezési ellenállása – Egyszerűsített méretezési módszer:

$$F_{w,Rd} = a \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 0,4 \cdot \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 8,314 \text{ kN/cm} = 831,4 \text{ kN/m}$$

A varratokra ható igénybevételek:

- Normálerő: $N_a = S_{1,Ed} - S_{2,Ed} \cdot \cos 45^\circ = 288 - \frac{143}{\sqrt{2}} = 186,9 \text{ kN}$
- Nyíróerő: $V_a = S_{2,Ed} \cdot \sin 45^\circ = \frac{143}{\sqrt{2}} = 101,1 \text{ kN}$
- Nyomaték: $M_a = 0$

Ellenőrzés:

$$F_{w,Ed} = \frac{\sqrt{N_a^2 + V_a^2}}{2 \cdot \ell} = \frac{\sqrt{186,9^2 + 101,1^2}}{2 \cdot 0,32} = 332,0 \text{ kN/m} \leq F_{w,Rd} = 831,4 \text{ kN/m}$$

Tehát a varratkép megfelel.

A varrat ellenőrzése az általános méretezési módszer alapján:

$$A_w = 2 \cdot 0,4 \cdot 32 = 25,6 \text{ cm}^2$$

A varratfeszültségek:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_a}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{186,9}{\sqrt{2} \cdot 25,6} = 5,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_a}{A_w} = \frac{101,1}{25,6} = 3,95 \text{ kN/cm}^2$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{5,16^2 + 3 \cdot (5,16^2 + 3,95^2)} = 12,38 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25} = 36 \text{ kN/cm}^2$$

Tehát a varratkép megfelel.

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} = 5,16 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 28,8 \text{ kN/cm}^2$$

Tehát a varratkép megfelel.

Megjegyzés:

A feladatban nincs szükség a tervezési ellenállás redukálására mivel a varrat hossza kisebb, mint 150 a, ill. 1,7 m.

2) eset:

A varrat fajlagos tervezési ellenállása – Egyszerűsített méretezési módszer:

A varrat tervezési nyírási szilárdsága és fajlagos tervezési ellenállása ugyanaz, mint az 1) esetben.

A varratokra ható igénybevételek:

A nyomaték felvétele szempontjából a $W = \ell^2/6$ keresztmetszeti modulust használjuk.

- Normálerő: $N_b = N_a = 186,9 \text{ kN}$

- Nyíróerő: $V_b = V_a = 101,1 \text{ kN}$

- Nyomaték: $M_b = N_b \cdot e = 186,9 \cdot 5 = 934,5 \text{ kNcm} = 9,345 \text{ kNm}$

Ellenőrzés:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{N_b}{2 \cdot \ell} + \frac{6 \cdot M_b}{2 \cdot \ell^2}\right)^2 + \left(\frac{V_b}{2 \cdot \ell}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{186,9}{2 \cdot 32} + \frac{6 \cdot 934,5}{2 \cdot 32^2}\right)^2 + \left(\frac{101,1}{2 \cdot 32}\right)^2} = 5,875 \text{ kN/cm} = 587,5 \text{ kN/m}$$

$$F_{w,Ed} = 587,5 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 831,4 \text{ kN/m}$$

Tehát a varratkép megfelel.

A varrat ellenőrzése az általános méretezési módszer alapján:

$$A_w = 2 \cdot 0,4 \cdot 32 = 25,6 \text{ cm}^2$$

A varratfeszültségek (lsd. 1) eset):

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 5,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 3,95 \text{ kN/cm}^2$$

feszültségeken túl még a külpontosságából is keletkeznek feszültségek:

Nyomatékból származó feszültségek:

$$\tau'_{\perp} = \sigma'_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{6 \cdot M_b}{2 \cdot a \cdot \ell^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{6 \cdot 934,5}{2 \cdot 0,4 \cdot 32^2} = 4,84 \text{ kN/cm}^2$$

1.feltétel

$$\sqrt{(\sigma_{\perp} + \sigma'_{\perp})^2 + 3[(\tau_{\perp} + \tau'_{\perp})^2 + \tau_{\parallel}^2]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{(5,16 + 4,84)^2 + 3[(5,16 + 4,84)^2 + 3,95^2]} = 21,14 \text{ kN/cm}^2 < \frac{36}{0,8 \cdot 1,25} = 36 \text{ kN/cm}^2$$

Tehát a varratkép megfelel.

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} + \sigma'_{\perp} = 5,16 + 4,84 = 10,0 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 28,8 \text{ kN/cm}^2$$

Tehát a varratkép megfelel.

4.17. Példa

Ellenőrizzük a rácsos tartó csomólemezt bekötő tompavarratos kapcsolatot ($t = 8 \text{ mm}$, $\ell = 320 \text{ mm}$ lsd.4.30. ábra), ha $S_{1,Ed} = 288 \text{ kN}$ és $S_{2,Ed} = 143 \text{ kN}$!

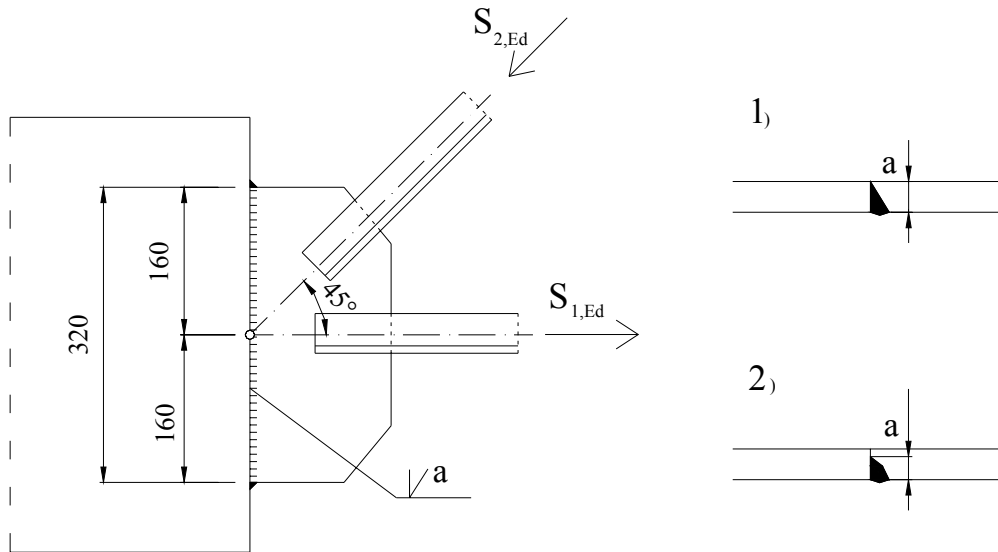
Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$

A vázolt esetek között az a különbség, hogy az első esetben teljes beolvadású- ($a = t$), míg a második esetben részleges beolvadású ($a = 0,8 \cdot t$) tompavarratot alkalmazunk.

1) eset:

Teljes beolvadású tompavarrat esetén az alapanyagot kell vizsgálni!

A kapcsolat geometriája:



4.30. ábra: A kapcsolat kialakítása.

2) eset:

A varrat fajlagos tervezési ellenállása – Egyszerűsített méretezési módszer::

$$F_{w,Rd} = a \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 13,302 \text{ kN/cm} = 1330,2 \text{ kN/m}$$

A varratokra ható igénybevételek:

A varratokra ható igénybevételek megegyeznek a **4.16. Példa** 1) esetében számítottakkal, tehát:

- Normálerő: $N_a = 186,9 \text{ kN}$
- Nyíróerő: $V_a = 101,1 \text{ kN}$
- Nyomaték: $M_a = 0$

Ellenőrzés:

$$F_{w,Ed} = \frac{\sqrt{N_b^2 + V_b^2}}{\ell} = \frac{\sqrt{186,9^2 + 101,1^2}}{32} = 664,0 \text{ kN/m} \leq F_{w,Rd} = 1330,22 \text{ kN/m}$$

Tehát a varratkép megfelel.

4.3.3. Hajlított-nyírt elemek hegesztett kapcsolatai

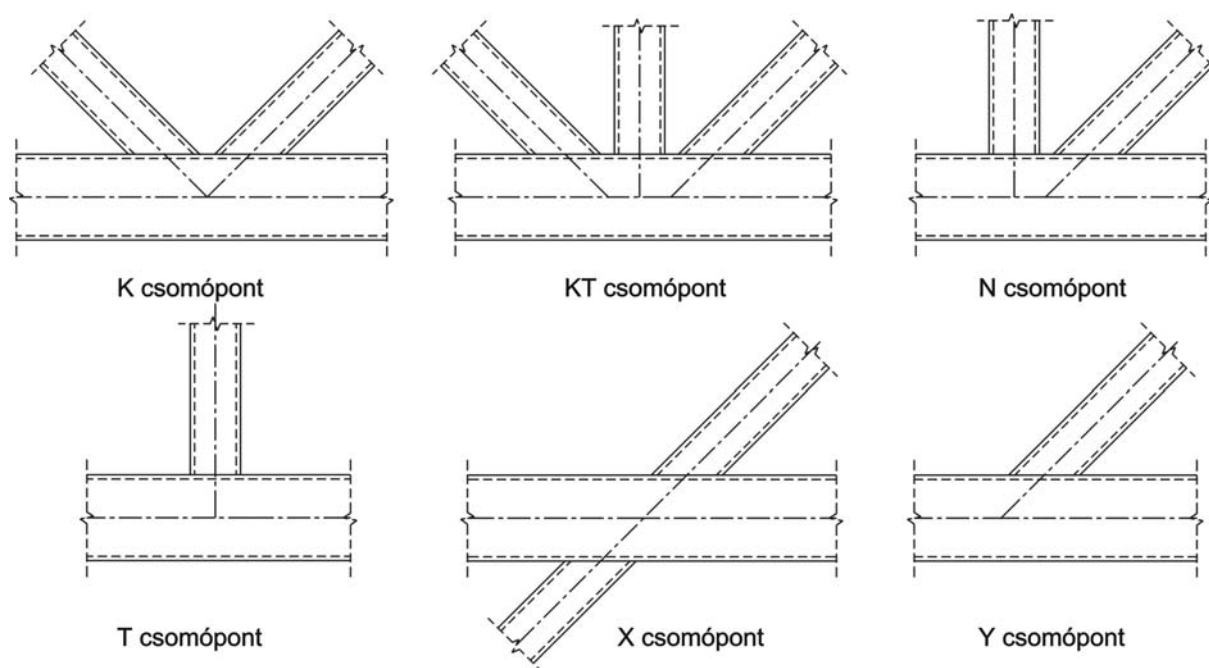
4.4. Rácsos tartó csomópontok ellenállása

Az EN1993-1-8 7. fejezete foglalkozik zárt szelvényekből, valamint nyitott szelvényű övekből és zárt szelvényű rácsrudakból készülő rácsos tartók csomóponti kialakításának és méretezésének kérdéseivel.

4.4.1. Szerkezeti kialakítás és méretezési elv

Az előírás definiálja az említett szelvényű rácsos tartók lehetséges csomóponti típusait, amelyek közül a feladat esetében a K, N és T jelű fordulhat elő (4.31. ábra, zárt szelvényű öveket ábrázolva). Későbbi hivatkozás miatt az ábrán szerepel a KT, X és Y jelű csomópont is, de rájuk a feladatban nincs szükség. Az előírásokat a következő alapvető feltételek teljesítése esetén lehet alkalmazni:

- Az alkalmazott anyagok folyáshatára nem nagyobb 460 N/mm^2 -nél;
- A falvastagság nem lehet kisebb $2,5 \text{ mm}$ -nél;
- A nyomott rudakban alkalmazott szelvényeknek teljesíteniük kell az 1. vagy 2. osztályú hajlított elemekre vonatkozó követelményeket;
- A rácsrudak és az övek, valamint a csomópontokhoz csatlakozó rácsrudak közötti szög nem lehet kisebb 30° -nál.

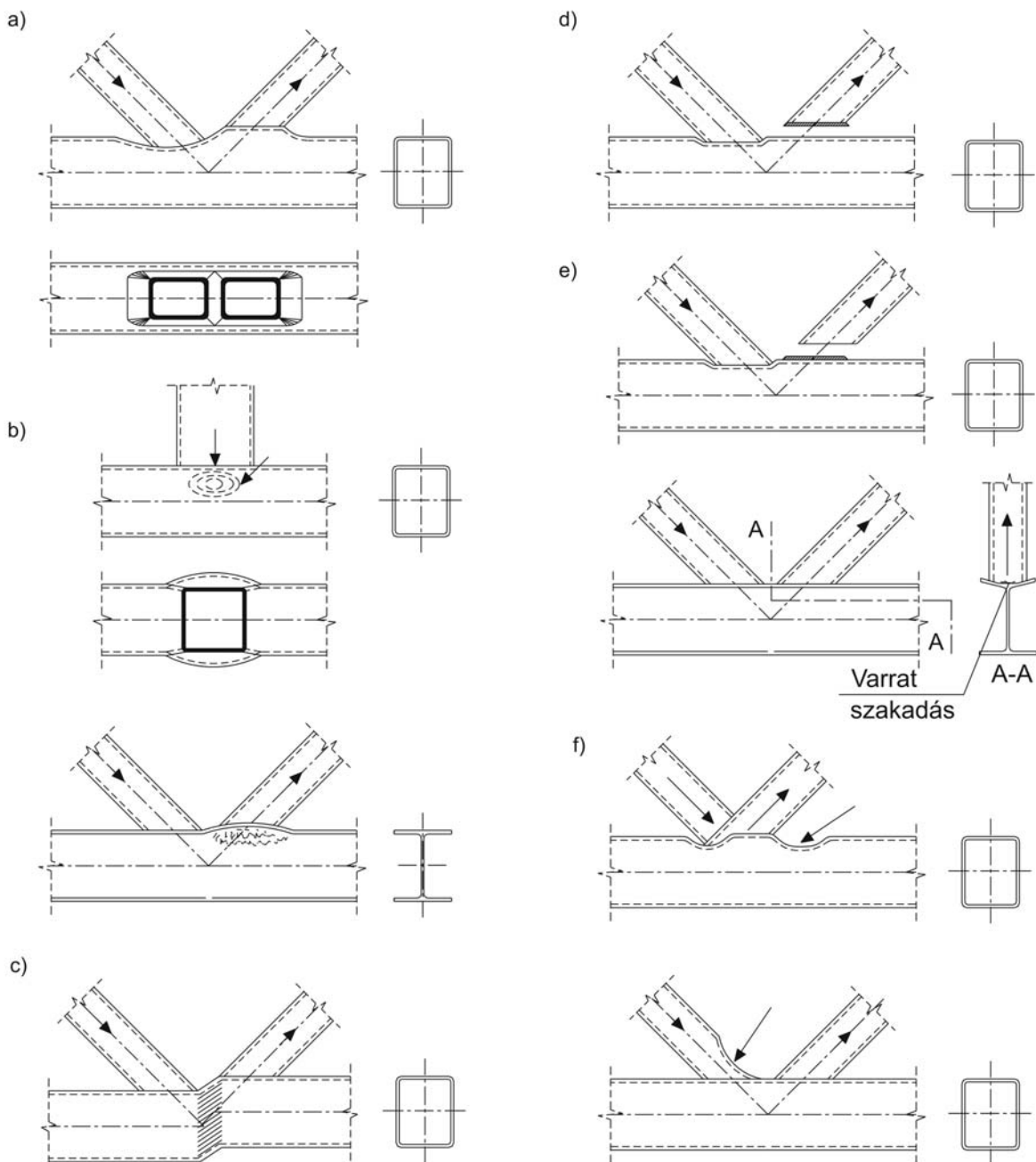


4.31. ábra: Zárt szelvényű rácsos tartók csomópont-típusai.

A definiált típusú kapcsolatokban a következő tönkremeneteli módok fordulhatnak elő (4.32. ábra):

- a) Az öv felületének vagy keresztmetszetének képlékeny tönkremenetele (csak zárt szelvény öv esetén kell figyelembe venni).
- b) Nyomott rácsrudak esetén a zárt szelvényű öv falának vagy az I-szelvényű rudak gerincének helyi folyása, gyűrődése, horpadása vagy beroppanása.
- c) Az öv nyírás tönkremenetele.
- d) A zárt szelvény övében repedés képződik, elnyíródik és a rácsrúddal együtt kiszakad az öv fala. (I-szelvényű övnél nincs ilyen tönkremenetel).

- e) Repedések keletkezhetnek a rácsrudakban vagy a rácsrudakat bekötő varratokban és a húzott rácsrúd kiszakad. I-szelvényű öv esetén a húzott rácsrúd alatt deformálódik a szelvény öve és a jelölt részen a varratok elszakadnak, ami a teljes varrathossz felszakadásához vezethet.
- f) A nyomott rudak részeinek horpadása a csomópont környezetében.



4.32. ábra: Zárt szelvényű rácsrudakból és zárt- vagy I-szelvényű övrudakból készült rácsos tartók tönkremeneteli típusai.

A rácsrudakat az övekhez kötő varratokat úgy kell tervezni, hogy megfelelő teherbírással és alakváltozási képességgel rendelkezzenek. A rácsrúd bekötését sarokvarratokkal, tompavarratokkal vagy a kettő kombinációjával kell megoldani. A rácsrudat bekötő varratnak a rácsrúdkerület egységnyi hosszára eső tervezési ellenállása ne legyen kisebb, mint a rúdkeresztmetszet tervezési ellenállásának a kerület egységnyi hosszára eső értéke. A dönt betűs rész világos eljárást ad a megfelelő varratkeresztmetszet kialakítására: az ún. egyszerűsített méretezési módszert használva meg kell határozni a varratkép tervezési ellenállását, és azt el kell osztani a szelvény kerületével, majd összehasonlítani a rúd tervezési ellenállásának ugyanazon

kerülettel osztott értékével. Ugyanazon keresztmetszetű nyomott rúd ellenállása a kihajlás miatt általában kisebb, mint a húzási tervezési ellenállása, de ezt a körülményt nem érdemes figyelembe venni a varratméretezés során, vagyis a két rúdra ugyanazt az a varratméretet célszerű előírni. Gondot kell fordítani arra, hogy az előírt a méret ne legyen nagyobb, mint a szelvény falvastagsága.

Egymáshoz csatlakozó zárt szelvényekre elő vannak írva bizonyos geometriai arányok, amelyek teljesítése esetén a hegesztett kapcsolat ellenállása a megadott összefüggésekkel számítható. A feladat során olyan szelvényeket kell választani, amelyek eleget tesznek a követelményeknek. Az arányokat az EN 1993-1-8 7.8. táblázata alapján a 4.4. táblázat mutatja.

Az alábbi képletekben a b_0 , h_0 és t_0 értékek mindig az övrúd, b_1 , h_1 és t_1 értékek mindig a nyomott rácsrúd ill. a b_2 , h_2 és t_2 értékek mindig a húzott rácsrúd szelvényének méretére utalnak (ld. 4.6. táblázat ábrái).

A szabványnak az idézett táblázata foglalkozik az ún. átlapolts csatlakozatokkal is, amelyeknél egy kisebb keresztmetszetű rácsrúd nemcsak az övhöz csatlakozik, hanem egy bizonyos megengedett mértékben „ráfut” a nagyobbik keresztmetszetű rácsrúdra is. Az egyszerűsítés érdekében az ilyen megoldást a feladat köréből kizárjuk (ezért a táblázatban sem szerepel), azaz legalább a g_{min} értéket alkalmazzuk a két rácsrúd között még azon az áron is, hogy a csomópontban kis mértékű kiüresítés jöjjön létre.

I-szelvényű (pl. H és IPE) öv és zártszelvényű rácsrúd esetén a 4.5. táblázat tartalmazza azokat a geometriai követelményeket, amelyeket be kell tartani ahhoz, hogy a hegesztett kapcsolat ellenállása a megadott összefüggésekkel számítható legyen.

A csomópont típusa	Csomóponti paraméterek ($i=1$ vagy 2)					Rácsrudak távolsága
	b_i/b_0	b_i/t_i és h_i/t_i		h_0/b_0 és h_i/b_i	b_0/t_0 és h_0/t_0	
		Nyomás	Húzás			
T, Y vagy X	$\geq 0,25$	≤ 35	≤ 35	$\geq 0,5$ de $\leq 2,0$	≤ 35 és 2. osztály	-
Hézagos K és N	$\geq 0,35$ és $\geq 0,1 + 0,01 b_0/t_0$	és 2. osztály				$g/b_0 \geq 0,5 (1-\beta)$, de $\leq 1,5 (1-\beta)^1$ és $g \geq (t_1 + t_2)$

¹⁾ Ha $g/b_0 > 1,5 (1-\beta)$ és $g \geq t_1 + t_2$ a csomópont különálló T vagy Y csomópontként kezelendő.
 $\beta = \frac{b_1}{b_0}$ (T vagy Y), $\beta = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0}$ (K és N) az átlagos rácsrúd-övrúd szélességarány.

A táblázat jelölései a 4.7. táblázat ábráin láthatók

4.4. táblázat: Hegesztett csomópontok érvényességi tartománya RHS rács- és övrudakra.

A csomópont típusa	Csomóponti paraméterek ($i=1$ vagy 2)			
	d_w/t_w	b_i/t_i és h_i/t_i		h_i/b_i
		Nyomás	Húzás	
X	1. osztály és $d_w \leq 400$ mm	1. osztály		$\geq 0,5$ de $\leq 2,0$
T vagy Y	2. osztály és $d_w \leq 400$ mm	és $h_i/t_i \leq 35$ $b_i/t_i \leq 35$	$h_i/t_i \leq 35$ $b_i/t_i \leq 35$	1,0
Hézagos K vagy N				$\geq 0,5$ de $\leq 2,0$

A táblázat jelölései a 4.8. táblázat ábráin láthatók.

4.5. táblázat: Hegesztett csomópontok érvényességi tartománya RHS rács- és I vagy H-szelvényű övrudakra.

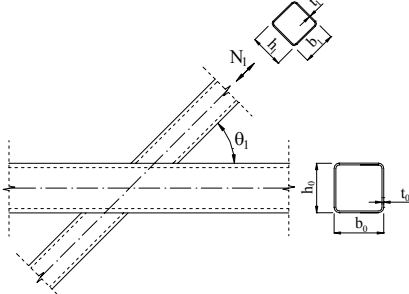
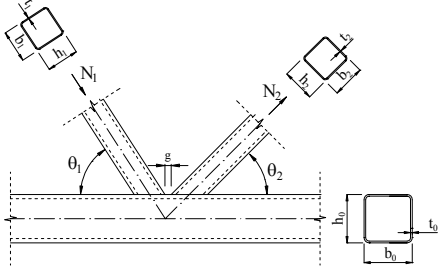
4.4.2. K csomópontok ellenállása

Csak normálerővel igénybevett rácsrúd kapcsolatában az $N_{i,Ed}$ tervezési rúderő ne legyen nagyobb, mint a hegesztett kapcsolat $N_{i,Rd}$ tervezési ellenállása, amelyet a következőkben bemutatott módon kell meghatározni.

Négyzet szelvényű rácsrúd és kizárólag négyzet szelvényű övrúd esetén, ha azok eleget tesznek a 4.4. táblázat, valamint a kiegészítő előírásokat tartalmazó 4.6. táblázat (a szabványban 7.9. táblázat) követelményeinek, a tervezési ellenállást a 4.7. táblázat (a szabványban 7.10. táblázat) összefüggéseivel lehet meghatározni. Az 4.6. táblázat feltételeit teljesítő csomópontoknál csak az a) és e) tönkremeneteli módokkal kell számolni. Tervezési ellenállásként a két feltételből adódó értékek közül a kisebbiket kell venni. A 4.7. táblázatban nem szerepelnek azok a méretezési kritériumok, amelyek az 4.6. táblázat érvényességi tartományán belül sohasem mértékadóak.

A rácsrúd típusa	A csomópont típusa	Csomóponti paraméterek	
Négyzet alakú zárt szelvény	T, Y vagy X	$b_i / b_0 \leq 0,85$	$b_0 / t_0 \geq 10$
	K vagy N	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2 b_1} \leq 1,3$	$b_0 / t_0 \geq 15$

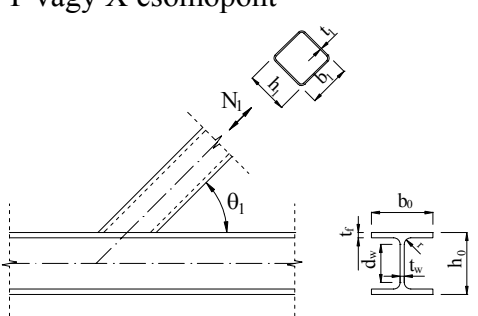
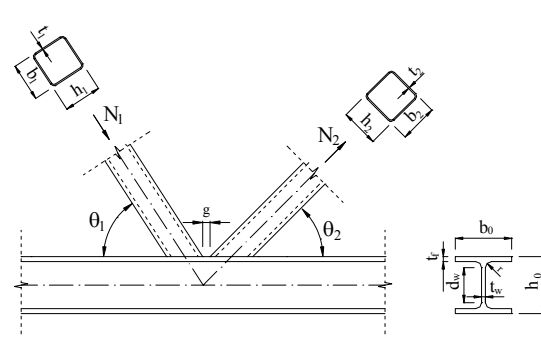
4.6. táblázat: Kiegészítő feltételek a 4.7. táblázat használatához.

A csomópont típusa	Méretezési ellenállás ($i = 1$ vagy 2)	
T, Y vagy X csomópont 	Az öv felületének törése	$\beta \leq 0,85$
	$N_{i,Rd} = \frac{k_n f_{y0} t_0^2}{(1 - \beta) \sin \theta_i} \left(\frac{2 \beta}{\sin \theta_i} + 4 \sqrt{1 - \beta} \right) / \gamma_{M5}$	
K és N csomópont 	Az öv felületének törése	$\beta \leq 1,0$
	$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \sqrt{\gamma} k_n f_{y0} t_0^2}{\sin \theta_i} \left(\frac{b_1 + b_2}{2 b_0} \right) / \gamma_{M5}$	
<p>A képletekben: ha $n > 0$ (nyomás), akkor $k_n = 1,3 - \frac{0,4 n}{\beta}$, de $k_n \leq 1,0$; ha $n \leq 0$ (húzás), akkor $k_n = 1,0$.</p> <p>$n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0} \cdot \gamma_{M5}}$, ahol $\sigma_{0,Ed}$ az övben a normálerőből (és nyomatékból) keletkező legnagyobb nyomófeszültség a csomópontnál; $\gamma = b_0 / 2 \cdot t_0$, az övszélesség és az övvastagság kétszeresének aránya; $\gamma_{M5} = 1,0$.</p>		

4.7. táblázat: Négyzet alakú zárt szelvények közötti hegesztett csomópontok tervezési ellenállása.

Négyzet (és kör) szelvényű rácsrúd és I vagy H szelvényű övrúd esetén, ha azok eleget tesznek a 4.5. táblázat követelményeinek a tervezési ellenállást a 4.8. táblázat (a szabványban 7.21. táblázat) összefüggéseivel lehet meghatározni. A 4.5. táblázat feltételeit teljesítő csomópontoknál csak a 4.8. táblázatban foglalt tervezési követelményeket kell ellenőrizni. és a kapcsolat tervezési ellenállása a kiszámítottak közül a legkisebb lesz.

A szabvány egy sor további esetet tárgyal és ad rá megoldásokat, pl. a nem négyzet alakú szelvényeket, csomólemezek, vagy I és H szelvények csatlakozását RHS övhöz, hajlítónyomaték figyelembevételét, lemezekkel erősített öveket stb. A feladatban alkalmazottól eltérő körülmények esetén tanulmányozni kell a szabvány előírásait.

A csomópont típusa	Méretezési ellenállás ($i = 1$ vagy 2)
T, Y vagy X csomópont 	Az öv gerincének folyása
	$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_1 \cdot \gamma_{M5}}$
	A rácsrúd tönkremenetele
	$N_{1,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$
K és N csomópont 	Az öv gerincének folyása
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}}$
	A rácsrúd tönkremenetele
	$N_{i,Rd} = 2 f_{y1} t_1 p_{eff} / \gamma_{M5}$
	Az öv nyírási tönkremenetele
	$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}}$
	$N_{0,Rd} = \frac{(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}}{\gamma_{M5}}$
A képletekben szereplő paraméterek értékei: $A_v = A_0 - (2 - \alpha) b_0 t_f + (t_w + 2r) t_f; \quad \alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_f^2}}$ $b_w = \min \left[\frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r); \quad 2t_i + 10(t_f + r) \right]$ $p_{eff} = \min [t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{y1}; \quad b_i + h_i - 2t_i]$ $\gamma_{M5} = 1,0$ V_{Ed} : az egyik rácsrúderő függőleges komponense $V_{pl,Rd} = \frac{A_{v0} \cdot f_{y0}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}}$: az övrúd nyírási ellenállása, lásd 3.2.3 fejezet.	

4.8. táblázat: Négyzet alakú zárt szelvényű rácsrudak és I- vagy H-szelvényű övrudak közötti hegesztett csomópontok tervezési ellenállása.

Ha az övben a 4.33. ábra szerinti merevítések vannak, akkor T, X, Y, K és N típusú csomópontok méretezési ellenállását a következő összefüggésekkel számítjuk:

$$N_{i,Rd} = 2f_{yi}t_i(b_{eff} + b_{eff,s})/\gamma_{M5}$$

ahol

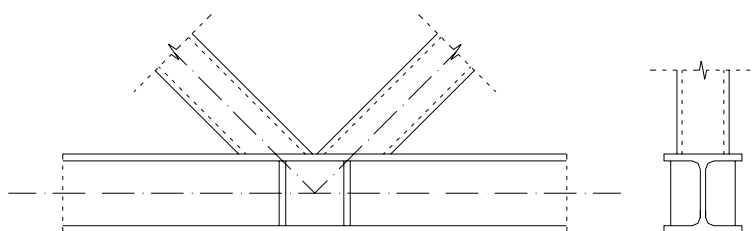
$$b_{eff} = t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi}, \quad \text{de} \quad b_{eff} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$b_{eff,s} = t_s + 2a + 7t_f f_{y0} / f_{yi}, \quad \text{de} \quad b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$b_{eff} + b_{eff,s} \leq b_i + h_i - 2t_i, \quad \text{ahol}$$

a : a varratméret (egyoldali varrat esetén a $b_{eff,s}$ képletében $2a$ helyett a -t kell venni),

t_s : a merevítő lemez vastagsága.



4.33. ábra: I-szelvényű öv merevítései.

A merevítések legalább olyan vastagok legyenek, mint az öv gerince. A feladatban lehetőleg ne alkalmazzunk ilyen merevítéseket (alkalmazásuk sok kézi munkát igényel), de a támasznál lévő oszlop alatti és feletti részen a mintarajznak megfelelően tegyünk az övbe merevítéseket.

4.18. Példa

A 4.34. ábra szerinti K csomópont egy rácsos tartó alsó övének van kialakítva és hidegen hajlított zárt szelvények alkotják: az övrúd 100x100x4-es, a rácsrudak 80x80x4-es szelvényűek és 45°-os szögben csatlakoznak a rácsrúdhoz..

- Határozzuk meg a K csomópont tervezési ellenállását!
- Ellenőrizzük a rácsrudakat bekötő varratok tervezési ellenállását, ha azok $a = 4 \text{ mm}$ -es sarokvarratok!
- Mekkora lenne a csomópont ellenállása, ha a rácsos tartó övrúdjai HE-AA 120-as I-szelvényből készülne?

Alapanyag: S275 $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,85$

a) K csomópont tervezési ellenállásának meghatározása (zárt szelvényű öv- és rácsrudak)

A csomópont geometriája:

övrúd: 100x100x4

$$b_0 = 100 \text{ mm}$$

$$h_0 = 100 \text{ mm}$$

$$t_0 = 4 \text{ mm}$$

nyomott rácsrúd: 80x80x4

$$b_1 = 80 \text{ mm}$$

$$h_1 = 80 \text{ mm}$$

$$t_1 = 4 \text{ mm}$$

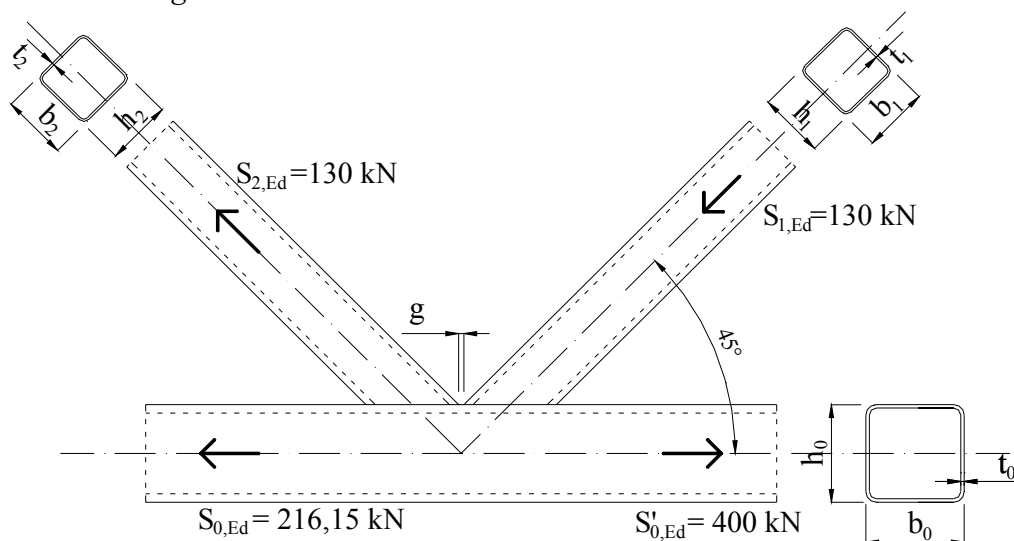
húzott rácsrúd: 80x80x4

$$b_2 = 80 \text{ mm}$$

$$h_2 = 80 \text{ mm}$$

$$t_2 = 4 \text{ mm}$$

$$g = 20 \text{ mm}$$



4.34. ábra: A K csomópont.

A szerkesztési szabályok ellenőrzése: 4.4. – 4.6. táblázatok

A szerkesztési szabályok ellenőrzésére azért van szükség, hogy eldöntsük, hogy az EC szabvány által javasolt méretezési módszer alkalmazható-e. (Négyzet alakú szelvényeknél bizonyos vizsgálatok összevonhatók, ettől most eltekintünk.)

- nyomott rácsrúd:

$$1. \quad \frac{b_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$2. \quad \frac{h_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$3. \quad \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$4. \quad \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

5. Keresztmetszet osztálya: – legalább 2. keresztmetszeti osztályú a szelvény

$$c_f = h_1 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_1 = 80 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_1} = \frac{56}{4} = 14,0 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú \rightarrow Ok

- húzott rácsrúd:

$$6. \quad \frac{b_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$7. \quad \frac{h_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$8. \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$9. \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- övrúd:

$$10. \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$11. \quad \frac{h_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$12. \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \geq 15 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$13. \frac{h_0}{b_0} = \frac{100}{100} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$14. \frac{h_0}{b_0} = \frac{100}{100} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

15. Keresztmetszet osztálya: – legalább 2. keresztmetszeti osztályú a szelvény

$$c_f = h_0 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_0 = 100 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_0} = \frac{76}{4} = 19 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú \rightarrow Ok

- övrúd és nyomott rácsrúd:

$$16. \frac{b_1}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$17. \frac{b_1}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 \frac{100}{4} = 0,35 \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- övrúd és húzott rácsrúd:

$$18. \frac{b_2}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$19. \frac{b_2}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 \frac{100}{4} = 0,35 \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- húzott és nyomott rácsrúd:

$$20. \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} = \frac{80 + 80}{2 \cdot 80} = 1,0 \geq 0,6 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$21. \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} = \frac{80 + 80}{2 \cdot 80} = 1,0 \leq 1,3 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- rácsrudak közti távolság:

$$22. \frac{g}{b_0} = \frac{20}{100} = 0,2 \geq 0,5 \cdot (1 - \beta) = 0,5 \cdot (1 - 0,8) = 0,1 \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$23. \frac{g}{b_0} = \frac{20}{100} = 0,2 \leq 1,5 \cdot (1 - \beta) = 1,5 \cdot (1 - 0,8) = 0,3 \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$24. g = 20 \geq t_1 + t_2 = 4 + 4 = 8 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = \frac{80 + 80}{2 \cdot 100} = 0,8$$

Ha a K csomópont szelvényei az összes szerkesztési szabály szerint megfelelőek, akkor feltételezhetjük, hogy a 4.32. ábrán látható tönkremeneteli módok közül csak az a és e jelű következhet be (a többi tönkremeneteli módot a szerkesztési szabályok betartásával kizártuk).

Az **a** tönkremeneteli mód az övrúd felületének a törése az **e** pedig a rácsrúd szakadása. E két tönkremeneteli mód szerint meg kell határoznunk a kapcsolat $N_{i,Rd}$ tervezési ellenállását és össze kell hasonlítanunk a kapcsolatra jutó $N_{i,Ed}$ rúderővel.

A kapcsolat tervezési ellenállása:

- az övrúd felületének a törése (**a** tönkremeneteli mód):

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \left(\frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} \right)}{\sin \theta_i} / \gamma_{M5}$$

ahol:

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{100}{2 \cdot 4} = 12,5$$

$k_n = 1,0$ húzott öv esetén (a feladatban húzott öv van)

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta}; \text{ de } k_n \leq 1,0 \text{ nyomott öv esetén}$$

$$\text{ahol: } n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} :$$

$\sigma_{0,Ed}$: az övben a normálerőből keletkező legnagyobb nyomófeszültség a csomópontnál

f_{y0} : az öv anyagának folyáshatára

$\theta_i = 45^\circ$: a nyomott rácsrúd hajlásszöge

$$\gamma_{M5} = 1,0$$

Behelyettesítve:

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot \sqrt{12,5} \cdot 1,0 \cdot 275 \cdot 4^2 \left(\frac{80 + 80}{2 \cdot 100} \right)}{\sin 45^\circ} / 1,0 = 156,64 \text{ kN}$$

- a rácsrúd szakadása:

Ezt a tönkremeneteli módot átlapolt kapcsolatnál kell vizsgálni. A feladatban $g = 20 \text{ mm}$ van a két rácsrúd között, nem átlapolt a kapcsolat, tehát ez a vizsgálat nem mértékadó.

Ellenőrzés:

A kapcsolatra jutó legnagyobb rúderő $N_{i,Ed} = S_{1,Ed} = 130 \text{ kN}$

A kapcsolat ellenállása: $N_{i,Rd} = 156,64 \text{ kN}$

$N_{i,Rd} = 156,64 \text{ kN} > N_{i,Ed} = 130 \text{ kN} \rightarrow$ Megfelel!

Az **e** jelű tönkremenetel vizsgálatát lásd a b) pontban.

b) A rácsrudakat bekötő varratok tervezési ellenállásának ellenőrzése (zárt szelvényű öv- és rácsrudak)

A hegesztett kapcsolat akkor megfelelő, ha $a \leq t$ varratmérettel számolva a varrat fajlagos tervezési ellenállása $F_{w,Rd}$ legalább akkora, mint a szelvény tervezési ellenállásának ($N_{t,Rd}$ vagy $N_{b,Rd}$), a varrat területével osztott fajlagos értéke.

- a varrat fajlagos ellenállása:

$a = 4 \text{ mm}$ sarokvarrat.

A varrat tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{43}{0,85 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 23,36 \text{ kN/cm}^2$$

Egy sarokvarrat fajlagos tervezési ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 0,4 \cdot 23,36 = 9,35 \text{ kN/cm}$$

- a varratot terhelő fajlagos erő:

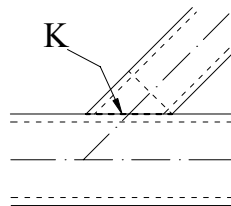
A rácsrúd húzási tervezési ellenállásából számolva.

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11,74 \cdot 27,5}{1,0} = 322,85 \text{ kN}$$

A húzási tervezési ellenállás fajlagos értéke:

A szelvény kerülete (lásd. 4.35 ábra)

$$K = 2 \cdot \left(b_2 + \frac{h_2}{\cos 45^\circ} \right) = 2 \cdot (80 + 80 \cdot \sqrt{2}) = 386,3 \text{ mm}$$



4.35 ábra: A csatlakozó rácsrúd kerülete.

$$\frac{N_{t,Rd}}{K} = \frac{322,85}{38,63} = 8,36 \text{ kN/cm}$$

- a varrat ellenőrzése:

$$F_{w,Rd} = 9,35 \text{ kN/cm} > \frac{N_{t,Rd}}{K} = 8,36 \text{ kN/cm} \quad \rightarrow \quad \text{A varrat megfelel!}$$

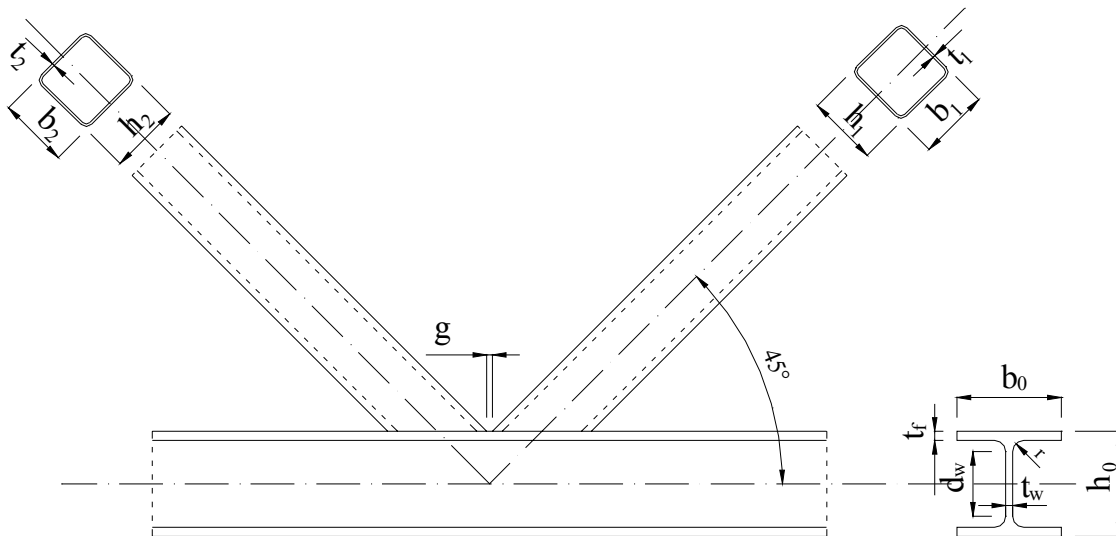
c) K csomópont tervezési ellenállásának meghatározása, ha az övrúd I-szelvényű

A csomópont geometriája:

A csomópont kialakítását I-szelvényű övekkel és zárt szelvényű rácsrudakkal a 4.36. ábra mutatja.

övrúd: HE-AA120

$$\begin{aligned} b_0 &= 120 \text{ mm} & t_f &= 5,5 \text{ mm} \\ h_0 &= 109 \text{ mm} & t_w &= 4,2 \text{ mm} \\ r &= 12 \text{ mm} & A_0 &= 18,6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$



4.36. ábra: A K csomópont I-szelvényű övrúddal.

A szerkezetségi szabályok ellenőrzése: 4.5. táblázat szerint.

- övrúd:

1. $d_w = h_0 - 2t_f - 2r$, belátható, hogy a $d_w < 400 \rightarrow$ Ok

2. A gerinc legalább 2. keresztmetszeti osztályú

$$c_w = h_0 - 2r - 2t_f = 109 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 5,5 = 74 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{74}{4,2} = 17,62 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú \rightarrow Ok

- nyomott rácsrúd:

3. $\frac{b_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \rightarrow$ Ok

4. $\frac{h_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \rightarrow$ Ok

$$5. \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$6. \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2,0 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

7. Keresztmetszet osztálya:

$$c_f = h_1 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_1 = 80 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_1} = \frac{56}{4} = 14,0 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú \rightarrow Ok

- húzott rácsrúd:

$$8. \frac{b_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$9. \frac{h_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$10. \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$11. \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

Az övrúd gerincének folyása:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}} = \frac{27,5 \cdot 0,42 \cdot 18,30}{\sin 45 \cdot 1,0} = 298,92 \text{ kN}$$

ahol:

$$b_w = \min \left[\frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r); \quad 2t_i + 10(t_f + r) \right]$$

$$b_w = \min[200,64; 183,0] = 183,0 \text{ mm}$$

A rácsrúd tönkremenetele:

$$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i p_{eff} / \gamma_{M5} = 2 \cdot 27,5 \cdot 0,4 \cdot 6,67 / 1,0 = 146,74 \text{ kN} \quad (\text{a rácsrúdra ez a mértékadó})$$

ahol:

$$p_{eff} = \min [t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi}; \quad b_i + h_i - 2t_i]$$

$$p_{eff} = \min[66,7; 152] = 66,7 \text{ mm}$$

Az öv nyírési tönkremenetele:

1. feltétel a rácsrúderőkre:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}} = \frac{27,5 \cdot 8,48}{\sqrt{3} \sin 45 \cdot 1,0} = 190,41 \text{ kN}$$

ahol:

$$A_v = A_0 - (2 - \alpha) \cdot b_0 t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f$$

$$A_v = 18,6 - (2 - 0,232) \cdot 12,0 \cdot 0,55 + (0,42 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,55 = 8,48 \text{ cm}^2$$

és

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_f^2}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 4 \cdot 20^2 / 3 \cdot 5,5^2}} = 0,232$$

2. feltétel az övrúderőre:

$$N_{0,Rd} = \frac{(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}}{\gamma_{M5}}$$

ahol:

V_{Ed} : a rácsrúderőnek az övrúd tengelyvonalára merőleges komponense:

$$V_{Ed} = S_{1,Ed} \sin 45 = 130 \cdot \sin 45 = 91,92 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y0}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8,48 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 134,64 \text{ kN}$$

behelyettesítve:

$$N_{0,Rd} = \frac{(18,6 - 8,48) \cdot 27,5 + 8,48 \cdot 27,5 \sqrt{1 - (91,92 / 134,64)^2}}{1,0} = 447,08 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$N_{i,Rd} = \min[298,92 \text{ kN}; 146,74 \text{ kN}; 190,41 \text{ kN}]$$

$$N_{i,Rd} = 146,74 \text{ kN} > S_{1,Ed} = 130 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{A rácsrúd megfelel!}$$

$$N_{0,Rd} = 447,08 \text{ kN} > S'_{0,Ed} = 400 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Az övrúd megfelel!}$$

5. Szerkezetek méretezése

5.1. Magasépítési rácsos tartók

5.1.1. Rácsos tartók szerkezeti kialakítása

A rácsos tartókat a legkülönbözőbb funkciójú magasépítési szerkezetekben használjuk nyílások áthidalására. A tervező gyakran hoz döntést arról, hogy egy földém, vagy egy tetőszerkezet fő tartószerkezeti elemeként hengerelt vagy hegesztett tömör szelvényt (más kifejezéssel gerinclemezes tartót, lsd. jelen útmutató 5.2. fejezetét), avagy rácsos tartót alkalmazzon-e.

A két szerkezetípus között szilárdságtani szempontból abban van a fő különbség, hogy a tömör gerendák a rájuk ható – hossztengegyükre merőleges vagy közel merőleges - terheket döntően hajlítás és nyírás útján egyensúlyozzák, míg a rácsos tartók rúdjaiban elsődlegesen normálerők (nyomás és húzás) keletkeznek. Ezt az állítást árnyalhatja, ha csavarás is jelen van, illetve ha speciális esetekben egy rácsos tartóban a valójában nem csuklós csomóponti kapcsolatok miatt hajlításból és nyírásból származó másodlagos igénybevételekkel is foglalkozunk.

A teljesség kedvéért meg lehet említeni, hogy gerenda jellegű áthidalásként használhatunk ún. Vierendeel-tartókat is, amely a rácsos tartó olyan „elfajulásaként” is felfogható, amely nem tartalmaz ferde rudakat, és az egymásra merőleges rudak között kifejezetten merev (nyomatékbíró) kapcsolatokat kell kialakítani. A Vierendeel-tartók jellemző hálózatát a két másik tartótípussal együtt az *5.1. ábra* mutatja.

A fejezet címének megmagyarázására hivatkozunk a tankönyvre, amely különbséget tesz magasépítési (könnyű) és hídépítési (nehéz) rácsos tartók között. Az elhatárolás manapság nem feltétlenül egyszerű, hiszen egy funkciója alapján magasépítésinek minősülő szerkezetet a támaszköz és a terhek nagyságrendje miatt esetleg a hídépítési tartóknál alkalmazott szelvényekkel kell megépíteni. Erre a közelmúltból vehető példa az új Budapest Aréna, amelynek övei nagyméretű H szelvényekből készültek. Lerögzítjük, hogy ennek a tárgynak a keretében néhány tíz méter fesztávolságú, kéttámaszú, tipikusan könnyűnek nevezhető rácsos tartók tervezési és megvalósítási kérdéseivel kívánunk foglalkozni.

Már korábban utaltunk rá, hogy gyakran rácsos tartó és tömör tartó alkalmazása között választ a tervező. Számos szempont létezik, ami a választást befolyásolja, nézzünk ezek közül néhány kézenfekvőt:

- Azonos fesztáv, terhelés, anyagminőség, stb. esetén a rácsos tartó könnyebb, esetenként lényegesen könnyebb, azaz kisebb acélfelhasználású lesz, mint egy tömör szelvényű tartó. Ennek oka az, hogy nincs benne nagy tömegű gerinclemez, és a hajlítás felvételére az anyag túlnyomó része az övekben koncentrálódik.
- Ennek ellentétéként a rácsos tartó általában lényegesen munkaigényesebb, különösen a hengerelt I-szelvényekhez képest, mert sok vágást tartalmaz, és a csomópontok kialakítása sok kézi munkát igényel.
- Általánosságban megfogalmazható, hogy a fesztávolság növekedésével a rácsos tartók egyre gazdaságosabbá, sőt egy határon túl szinte kizárólagossá válhatnak a gerinclemezes tartókhöz képest. Ennek illusztrálására lássuk a hídépítésből vett rekord értékeket, amelyek szerint a világ legnagyobb fesztávolságú tömör gerendahídja a Ponte Costa e Silva közúti híd (300 m nyílás, 1974, Rio de Janeiro, Brazília), míg rácsos szerkezettel a Szent Lőrinc folyó vasúti hídja (549 m, 1917, Québec, Kanada).
- Jelenlegi szemléletünk szerint – hacsak valamilyen funkcionális, esztétikai stb. szempont nem indokolja egyértelműen valamelyik tartótípus alkalmazását – a gazdaságosabb, tehát az anyag- és munkabéreköltséget együttesen figyelembe véve kedvezőbb megoldást kell választani.
- Az imént említett funkcionális szempont lehet például, hogy i) a rácsos tartók szerkezeti magassága általában nagyobb, ezért a ki nem használható, de fűtött tér nagyobb lehet, de ii)

gépészeti szempontból komplikáltabb épületeknél a rácsrudak közötti sok szabad tér kiváló lehetőséget nyújt a csövek vezetésére.

Alkalmazás

A rácsos tartókat többféle módon lehet egy építményben alkalmazni. Kerülhet hagyományos, pl. téglafalás épületbe, amikor a vasbeton koszorúhoz célszerű lekötni. Előfordulhat, hogy egy egyébként vasbeton vázas épület tetőszerkezetét alakítják ki acél rácsos tartókkal. Része lehet acél keretszerkezetnek is, amelyben az oszlopokat tömör acélszelvények adják, de az oszlopok is lehetnek rácsosak. Acélszerkezetek térbeli merevségének biztosításában fontos szerep jut az ún. szélrácsoknak (tömör vagy rácsos gerendák között alkalmazzuk őket) és a többnyire függőleges hosszukötéseknek. A féléves tervezési feladatban hagyományos szerkezetű épületben lévő rácsos tartót kell megtervezni, de gondolni kell a merevítő elemekre is.

Hálózati kialakítás

Már a korábbi tanulmányokból is ismert, hogy a rácsos tartókban többféle rúdhálózat alkalmazható. Utalunk a tankönyv [2] 13.1. ábrájára, de több példát mutat be az 5.2. ábra is. Leggyakrabban az ún. szimmetrikus és az oszlopos rácsos fordulat elő. A szimmetrikus rácsosást esztétikai szempontból általában kedvezőbbnek tartják, de elvitathatatlan az oszlopos rácsosú Szabadság híd különleges szépsége. A szimmetrikus rácsosú tartókat (az első rácsrúd legyen húzott) készítik függőleges elemek (összekötő rudak) nélkül (5.2. a ábra), felül szabad végű (5.2. b ábra) vagy alul szabad végű (5.2. c ábra) összekötő rudakkal. Nincs szükség összekötő rudakra, ha nem indokolt a csomópontok sűrítése, de egy magasépítési tartóban célszerű lehet felül szabad végű összekötő rudak alkalmazása szelemenek alátámasztására, és egyben a tartósíkban való kihajlási hossz csökkentésére. Alul szabad végű összekötő rudakat inkább a hídépítésben használnak (alsópályás rácsos híd).

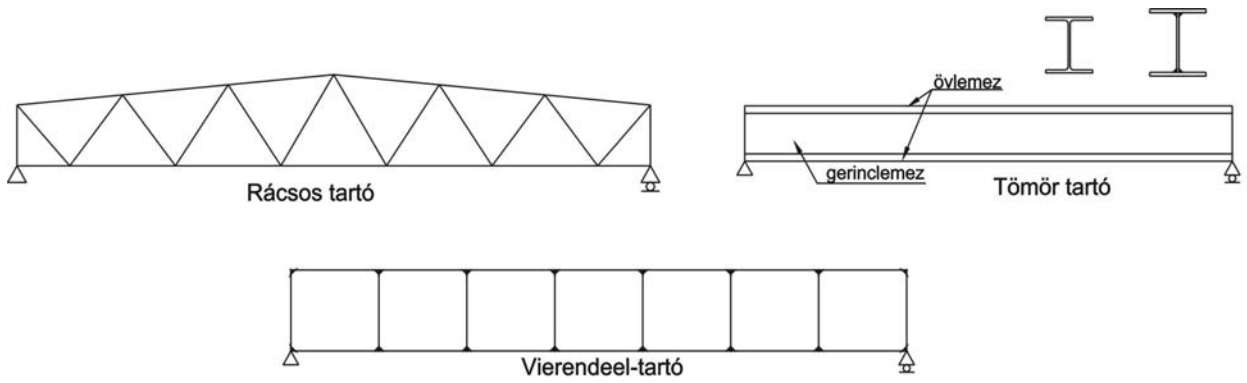
X- és K-rácsos (5.2. d és e ábra) napjainkban tervezett szerkezetekben elsősorban merevítésekben fordul elő. A rombuszos rácsos (5.2. f ábra) ugyancsak ritka, szép hazai példája a dunaföldvári híd. Meredek hajlású tetőknél célszerű lehet a Polonceau-tető (5.2. g ábra) alkalmazása.

Szelvények

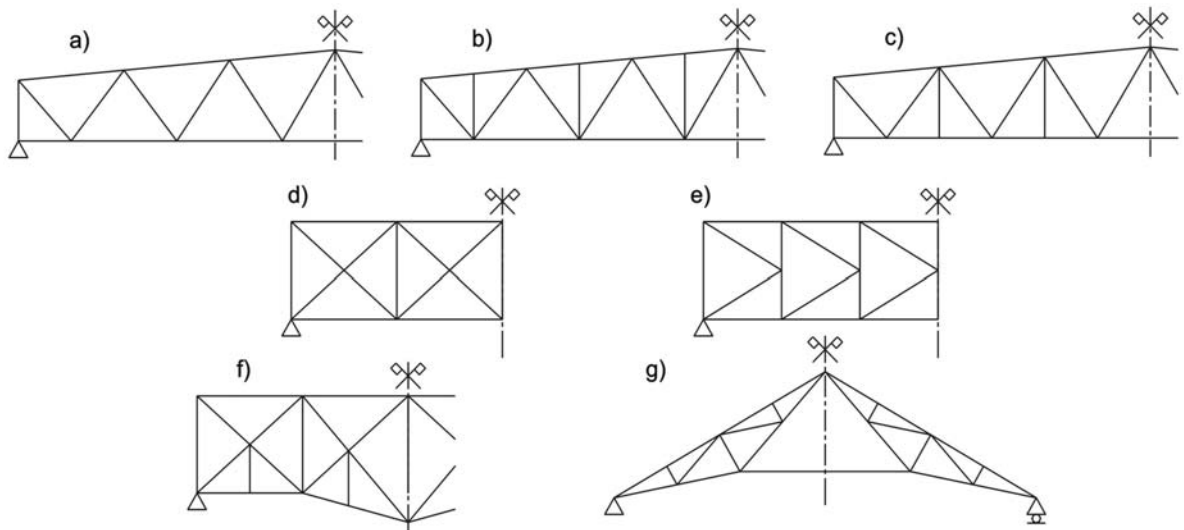
Magasépítési rácsos tartókban sokféle szelvényt lehet alkalmazni, ezekre példákat az 5.3. ábra mutat (ld. még a tankönyv 13.3. ábráját).

A XIX. század végén és a XX. század első felében hazánkban nagyon sok szögecselt rácsos tartó épült ipari épületekben, amelyek nem kis része ma is létező szerkezet. Az ilyen rácsos tartók jellemző öv- és rácsrúd keresztmetszeteit az 5.3. a ábra mutatja, amelyeket természetesen hegesztett tartókban is lehet alkalmazni. Ezek a rudak ún. osztott szelvényűek, az alkotó részszelvények közötti hevederek maximális távolságát szerkesztési szabályok írják elő, méretezésük során speciális eljárást kell követni. A részszelvények csomólemezt vastagságnyi távolságra (8-12 mm) vannak egymástól, ami mai felfogásunk szerint korrózióvédelmi szempontból nem jó megoldás, hiszen a kis rés miatt az egymásnak háttal lévő szelvények nem vizsgálhatók, és festésük nem újítható fel. Feltétlenül jobbnak kell minősítenünk az ún. kétfalú övet (5.3. b ábra és tankönyv), amelynél a rácsrudak a két szelvény közé futnak be, és a karbantartás egyszerűen megoldható. Ilyen típusú övnél a tervezés során ügyelni kell arra, hogy a részszelvények közötti távolság azonos kell legyen a teljes tartó mentén, és a szokásos tervezési sorrend helyett a rácsrudak tervezésével célszerű először foglalkozni.

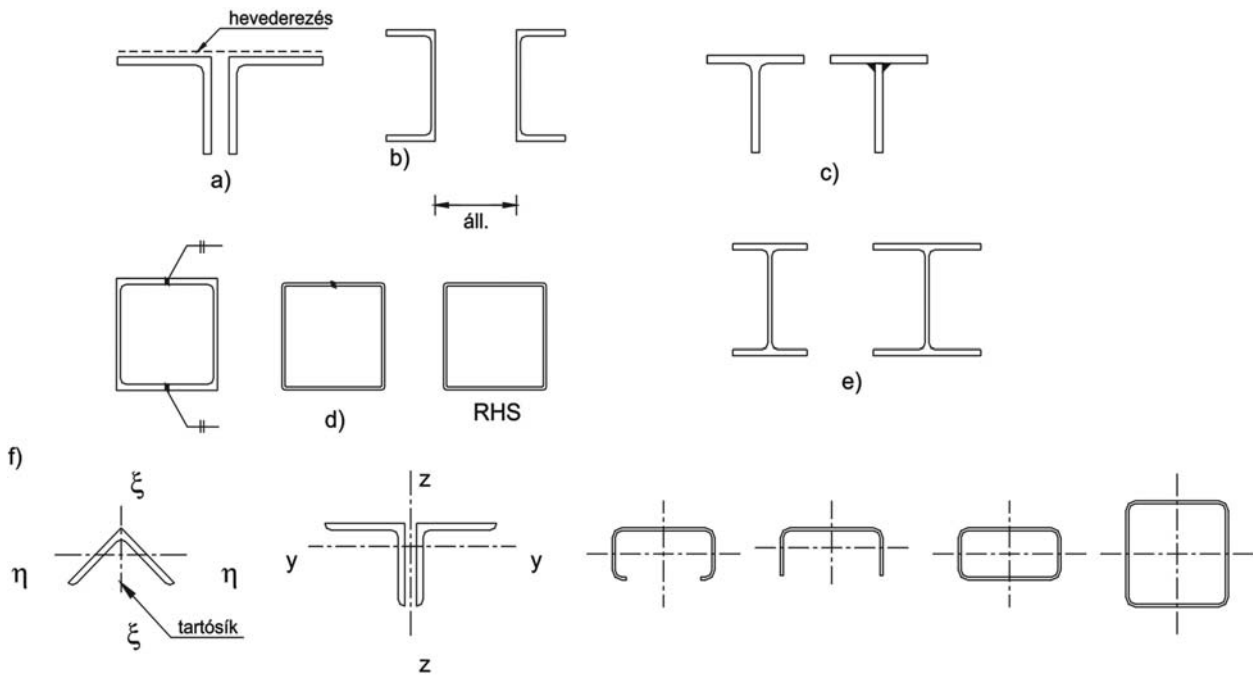
Rácsos tartók öveit célszerűen lehet T szelvényekből is készíteni. A 90-es évek előtt két lemezből összehegesztett szelvény vagy hosszában félbevágott hazai (MSZ 325 szerinti) I-szelvény jöhetett szóba. Megfelelő méretű hengerelt T szelvény ma sem áll rendelkezésünkre,



5.1. ábra: Nyílásáthidalások típusai.



5.2. ábra: Hálózatok.



5.3. ábra: Öv- és rácsrúd szelvények.

de IPE és H szelvények lánggal való hosszanti elvágásával a korábbiaknál alkalmasabb szelvények adódhatnak (5.3. c ábra). HE-B és HE-A (sőt HE-AA) szelvények kombinálásával a rúderők változásához is lehet alkalmazkodni (amennyiben az minden szempontból célszerű megoldást ad). A T szelvények előnye, hogy a gerinc a rúd része, és egyben lehetővé teszi a csomóponti bekötések elkészítését is, legfeljebb a legnagyobb rácsrúderők helyén lehet szükség hozzáhegesztett csomólemezek alkalmazására. Nyomott rudak esetében kétségtelen hátrány, hogy a felülethez viszonyított tehetetlenségi sugár elég kicsi pl. a zárt szelvényekhez képest, ugyanakkor a szelvény kg-ra vetített ára a vágással együtt is kisebb lehet a zárt szelvényekénél. Tervezési szempontból többletmunkát jelent, hogy gondolni kell a térbeli elcsavarodó kihajlás lehetőségére is.

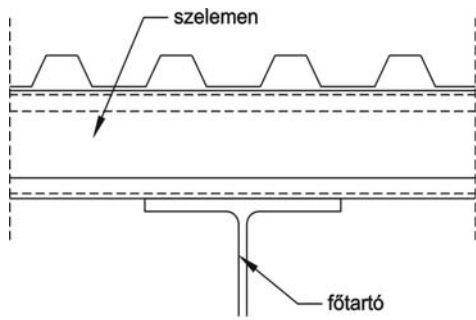
A 90-es évek a zárt szelvények hazai piacán is jelentős változást hoztak. A Dunai Vasmű (később DUNAFERR) zártszelvény-választéka legtöbbször nem tette lehetővé, hogy belőlük rácsostartó- öveket készítsünk. Ha zárt szelvényű öveket kívántunk alkalmazni, akkor például két U-szelvényt kellett hosszú varratokkal összehegeszteni. Manapság rendelkezésre állnak az importból származó ún. RHS (rectangular hollow section) szelvények (négyzet és téglalap keresztmetszettel), amelyek nagy méretválasztékot biztosítanak (5.3. d ábra). Ezek a szelvények gyakran hidegen hajlítottak és hegesztettek, de az utólagos hőkezelés nagy lemezvastagság esetén is kiváló szerkezeti viselkedésüket biztosítja, de készülnek meleg hengerléssel is. Adott esetben mérlegelést érdemelhet az áruk, ami kg-ra vetítve szokványos rúdacélok árának kétszerese körül lehet. Nyomott rudak esetében a felületre vetítve ezek a szelvények adnak optimális tehetetlenségi sugarat. A továbbiakban RHS szelvénynek csak az említett import szelvényeket fogjuk nevezni, noha fogalmilag, alakjuknál fogva a DUNAFERR szelvények is annak lennének nevezhetők.

Viszonylag újabb tendencia, hogy rácsos tartók öveként álló helyzetű IPE vagy H szelvényeket használnak (5.3. e ábra), bár ez elsősorban nagyobb fesztávolságú és/vagy terhelésű tartóknál fordul elő.

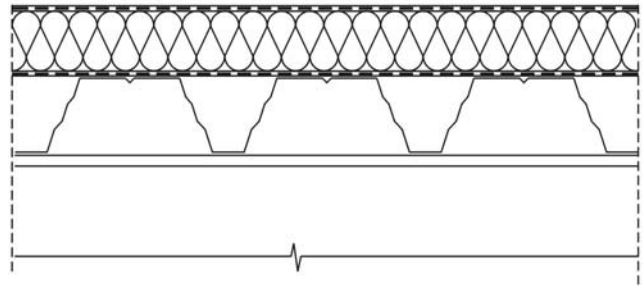
A szerkezeti kialakítás elvei

Fontos kérdés a tartómagasság helyes megválasztása. Meredek hajlású tetőknél a legnagyobb tartómagasság a geometriából adódik, itt következő megfontolásaink elsősorban kis hajlású tetőkre vonatkoznak. A megbízható vízvezetés érdekében teljesen vízszintes felső övvel nem készítünk tetőket: célszerű kb. 3%-os hajlást alkalmazni. Ebben az esetben a többnyire trapézlemez héjazaton van a lépésálló hőszigetelés és a vízszigetelés. Trapézlemez külső héjazatot hőszigetelés nélküli és hőszigetelt kéthéjú tetőnél alkalmaznak: ebben az esetben, különösen ha az egy tetősíkon lévő trapézlemez hosszirányban toldani kell, legalább 6 fokos (kb. 10%-os) hajlást kell választani. A héjazat lehetséges kialakítására az 5.4. ábra mutat példákat.

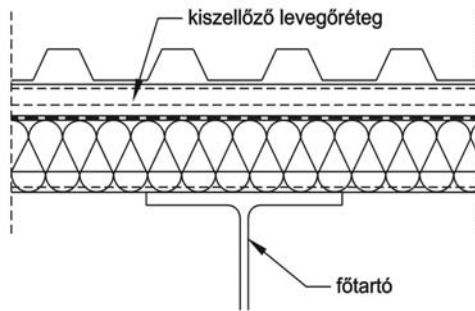
A tartómagasság helyes megválasztása alapvetően befolyásolja az egész tervezési folyamatot. Jelentős többletmunka származna abból, ha a számítás végén az derülne ki, hogy nem tudjuk kielégíteni a méretezési szabványban szereplő korlátot. A javasolható tartómagasság függvénye az anyagminőségnek is, ugyanis azonos tartómagasság és nagyobb szilárdság esetén az övekbe kevesebb anyag kerül, ami csökkenti a tartó tehetetlenségi nyomatékát (rácsos tartónál virtuális fogalom), és így növeli a lehajlást (az acél rugalmassági modulusa független a szilárdságtól). Ha azt akarjuk, hogy a számítás végén ne legyen probléma a lehajlással, kéttámaszú tartóknál S235 acélminőség (37-es szilárdsági csoport) esetén $L / 18$, S355 acélminőségénél (52-es szilárdsági csoport) pedig $L / 15$ körüli tartómagasság felvétele ajánlható. Trapéz alakú rácsos tartóknál nem célszerű a javasolt minimális tartómagassághoz közeli értéket felvenni, ha ez a választás a tartóvégen kedvezőtlenül lapos rácsrudakat eredményezne (optimálisnak a 45 fok körüli hajlású rácsrudakat szoktuk tekinteni). Gondolni kell arra is, hogy a közúti szállítási úrszelvény



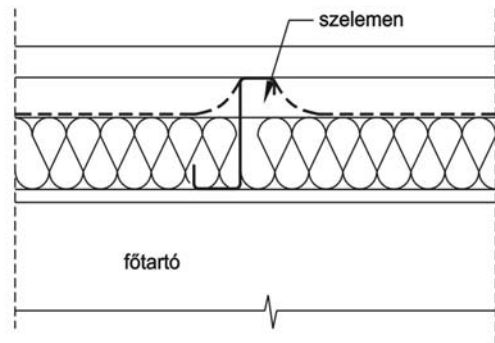
a) Hőszigetelés nélküli tető



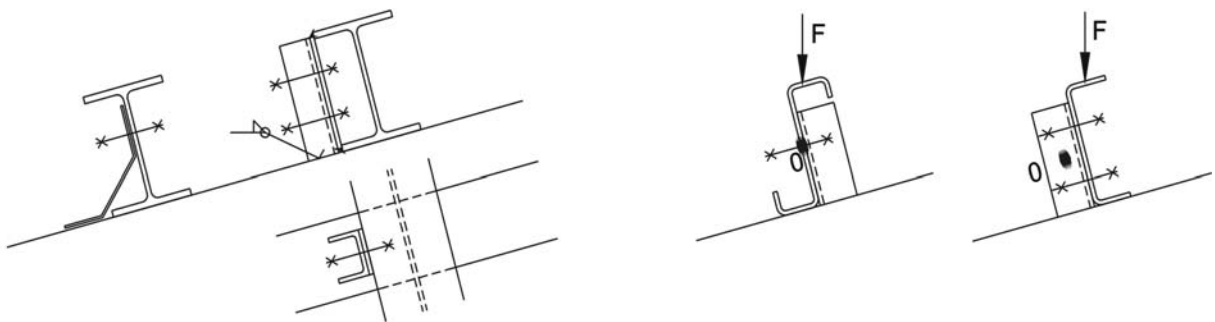
c) Hőszigetelt melegtető



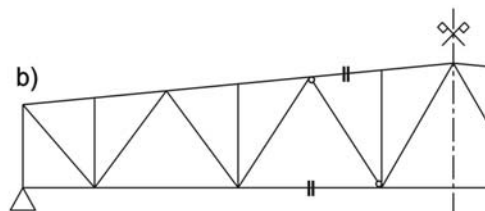
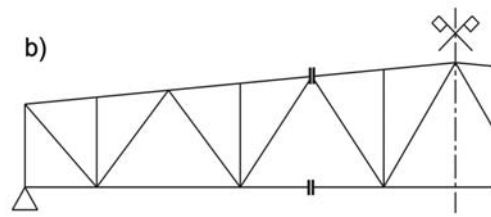
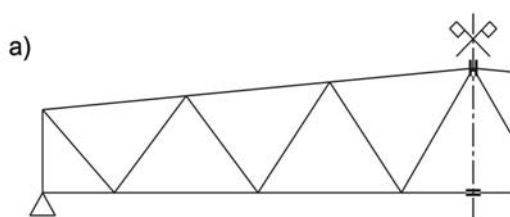
b) Hőszigetelt hidegtető



5.4. ábra: Héjazati megoldások.



5.5. ábra: Szelemenek és leerősítések.



5.6. ábra: Illesztési helyek.

2550 mm széles és az útfelülettől mérve 4000 mm magas: amennyiben ezt meghaladó méretű tartót tervezünk, költséges útvonalengedélyt kell beszerezni.

A tartómagasság felvétele jelentős hatással van a rácsos tartók szelvényezésére. Nagyobb tartómagasság esetén az övekbe kevesebb anyag kerül (kisebb szelvények alkalmazhatók), viszont a rácsrudak hosszabbak lesznek, ami a nagyobb kihajlási hossz miatt a nyomott rácsrudak keresztmetszetét is növeli.

Rácsos tartók hálózatát úgy szokás kialakítani, hogy csomópontjaikon legyenek terhelve. A tetőszerkezetek rácsos főtartóira rendszerint keresztirányban futó gerendák (szelemenek) támaszkodnak, amelyek a héjazat teherhordó elemét (pl. trapézlemez) támasztják alá. Az 5.5. ábra néhány szelemen keresztmetszetet és azok rácsos tartóra való rögzítését mutatja (tömör tartóknál hasonló megoldásokat alkalmazunk). A szelvények elhelyezésénél ügyelni kell arra, hogy egy tetőszerkezet esetén a domináns függőleges teher (hóteher) lehetőleg ne, vagy minél kisebb csavarást okozzon. A probléma érzékeltetésére feltüntettük a szelvények csavarási középpontját, amelyhez minél közelebb kell működnie a teher hatásvonalának.

Elvileg nem lehet kizárni azt a lehetőséget sem, hogy nem alkalmazunk szelemeneket, és a rácsos tartóra merőleges szerkezet (pl. magas szelvényű trapézlemez) folyamatosan a rácsos tartó felső övére támaszkodik. Ilyen esetben a méretezéskor természetesen figyelembe kell venni, hogy a felső öv közvetlen hajlítást is kap.

A kéttámaszú rácsos tartók számításakor az egyik tartóvégen fix csuklót, a másikon pedig görgős támaszt szoktunk felvenni. Meg kell mondani, hogy ennek a feltételezésnek tökéletesen megfelelő támaszokat a jelen útmutató körébe tartozó tartóknál általában nem szoktunk kialakítani: a tartóvégek gyakran fixen vannak rögzítve az aljzathoz, ami miatt valós viselkedésük eltérhet a számítottól. Acéloszlopokhoz csatlakozó rácsos tartónál, ha nem akarunk keretszerű működést lehetővé tenni, az alsó öv csatlakozhat vízszintes irányú ovális furattal a bekötőlemezhez. Nagyobb fesztávolságú és terhelésű tartóknál törekedni kell arra, hogy a támaszok lehetőleg a tartó középvonala körül legyenek, és a húzóerő hatására megnyúló öv alakváltozását ne gátoljuk.

Már a tervezés korai stádiumában ügyelni kell arra, hogy a rácsos tartókat hossz méretükből adódóan gyakran nem lehet egy darabban gyártani és a helyszínre szállítani. Problémákat okozhatnak az üzemi adottságok, a rendelkezésre álló szállító járművek, a szállítási útvonal stb. A helyszíni illesztések helyének és típusának kiválasztása már a vázlattevé készítésekor figyelmet érdemel, mert az illesztések az acélszerkezetek legdrágább részei.

Az 5.6. ábra néhány illesztési koncepciót mutat. Az 5.6. a ábrán az illesztés középen van, aminek révén a tartó két azonos darabból tehető össze (gyártás szempontjából kedvező megoldás). A felső öv célszerűen homloklemes kötéssel készülhet, a húzott övben lévő csavaros hevederes kötés viszont a legnagyobb rúderő helyén okoz gyengítést a rúdban. Az 5.6. b ábrán feltehetően egy nagyobb nyílású tartónál az illesztés nem középen van, ami viszont azt eredményezi, hogy egy helyett két illesztést alkalmazunk. Az 5.6. c ábra egy olyan erőltetett megoldást mutat, amikor egy rácsrúd egyik vége az egyik, a másik pedig egy másik gyártási egységhez tartozik, ami miatt a rácsrúd csak helyszíni kapcsolattal illeszthető be a tartóba.

5.1.2. Acél rácsos tartó tervezése - házi feladat

A házi feladat keretében olyan acél rácsos tartót kell tervezni, amely egy téglafalás épület vasbeton koszorúira támaszkodik. A tartó szelemenekkel alátámasztott trapézlemez hégazatot tart. A trapézlemez és a szelemen részletes megtervezése nem része a feladatnak, de a feladat megoldása során tekintettel kell rájuk lenni, pl. szerepelnek a vázlatterven, a részletterven fel kell tüntetni a szelemenbakokat.

A végrehajtandó feladatokat részletesen a feladatlap tartalmazza. A feladat két fő része az erőtani számítás és a részletterv. Foglalkozzunk először a számítással.

A rácsos tartó számítása

Nagyon fontos, hogy tervező számításait az első pillanattól kezdve ne rendezetlen formában készítse, hanem valamilyen koncepció szerint, egy tartalomjegyzéket követve. A tartalomjegyzék valószínűleg valamelyest változni fog a tervezés befejezéséig, de nagy segítséget nyújt a munkához.

A számítás készítése során tartalmi és formai szempontokat is figyelembe kell venni. Az erőtani (statikai) számítás elvileg a részlettervi szinten megtervezett szerkezet(ek) ellenőrző számítása, azaz azt mutatja meg, hogy a megtervezett szerkezet minden szempontból megfelel a követelményeknek. Emiatt a végleges (esetünkben beadásra kerülő) számítás ne tartalmazzon próbálkozásokat, hanem a végleges változatra vonatkozzon. A számításban legyenek méretarányos ábrák és rövid magyarázó szövegek. Úgy lehet összefoglalni, hogy a számítás ne legyen terjengős, de tartalmazzon mindent, ami szükséges; ismétlődő számítások részletes leírása helyett például az algoritmus megadása mellett táblázatot lehet készíteni. Gyakori hallgatói hiba, hogy a számítást szorosan a papír bal oldalának szélén kezdik írni, ami a befűzés, bekötés miatt egy részt olvashatatlanná tesz, ezért indokolt legalább 2 cm-es baloldali margó használata.

A feladat megoldásához az itt következő tartalomjegyzék minta javasolható, a továbbiakban annak címeihez fűzzük megjegyzéseinket.

Tartalomjegyzék (rácsos tartós acél tetőszerkezet számításához)

- R 1. A számítás kiindulási adatai
 - R 1.1. Vázlatterv
 - R 1.2. Az alkalmazott szabványok
 - R 1.3. Anyagminőségek, a mechanikai jellemzők karakterisztikus értékei
 - R 1.4. Terhek, teherkombinációk
- R 2. A trapézlemez méretezése (a feladat keretében nem kell elvégezni)
- R 3. A szelemenek méretezése (a feladat keretében nem kell elvégezni)
- R 4. A rácsos főtartó méretezése
 - R 4.1. Statikai váz, csomóponti terhek
 - R 4.2. A rúderök meghatározása
 - R 4.3. A rudak tervezése
 - R 4.3.1. Felső (nyomott) öv
 - R 4.3.2. Alsó (húzott) öv
 - R 4.3.3. Rácsrudak (összekötő rudak, oszlopok)
 - R 4.4. A kapcsolatok tervezése
 - R 4.4.1. Rúdbekötések
 - R 4.4.2. Helyszíni illesztések
 - R 4.5. A lehajlás ellenőrzése
- R 5. A merevítések tervezése (a feladat keretében nem kell elvégezni)

A tartalomjegyzékben azért szerepeltettük az R betűt, hogy megkülönböztessük az útmutató decimális számítási rendszerétől. A házi feladatban készülő tartalomjegyzékben természetesen az R jelölésnek nem kell szerepelnie.

R. 1.1. Vázlatterv

A vázlatterv(ek) elkészítése minden szerkezet tervezésének fontos része. Ennek keretében veti papírra a tervező (gyakran több változatban) azokat az elképzeléseket, amelyek előkészítik a részletes tervezést. Általában egyszerű közelítő számításokat is kell végezni, amelyek elősegítik a különböző változatok összehasonlítását és a megrendelővel együttműködve a kidolgozandó változat kiválasztását. A házi feladat keretében nem kell több változatot és közelítő számítást készíteni, a vázlatterv legfőbb célja a rácsos tartó hálózatának (típus, keretosztás, magasság) felvétele, az illesztési koncepció és a merevítési rendszer tisztázása. Irányelvként megemlítjük, hogy a szelemenek távolságát (egyben a csomóponti távolság és a trapézlemez támaszköze) 2 és 2,5 méter közé célszerű választani, ugyanis abban az esetben ún. első generációs trapézlemezeket (40-45 mm magassággal) lehet alkalmazni. Valószínűleg semmi sem indokolja, hogy a szelemeneket ne egyenletesen osszuk ki.

Ennek megfelelően az A3 méretű, ceruzával is megrajzolható vázlattervleapon az 5.7. ábra szerinti mintarajzot követve szerepeljen az oldalnézet és két, merevítéses mezőben lévő tartó felülnézete, valamint a hossz-kötés hálózata $M=1:100$ méretarányban, továbbá a minta szerinti néhány kiegészítő információ. A vázlatterv konzultálása feltétlenül indokolt, mert nagyban meghatározza a készítendő számítás sikerét. Különösen fontos a hálózat felvétele, amit a próbálgatás során soha ne szabad kézzel, léptéktelenül rajzoljunk fel, hanem léptékhelyesen, lehetőleg vonalzóval.

R 1.2. Az alkalmazott szabványok

A rácsos tartót a megfelelő tartószerkezeti Eurocode-ok felhasználásával kell megtervezni. Ezekből a feladat során az általános méretezési elvekre, a terhek és teherkombinációk felvételére, valamint az acélszerkezetek méretezésére vonatkozó részeket használjuk. Ebben a szakaszban pontos címmel (ld. a jelen útmutató korábbi fejezeteit), évszámmal fel kell sorolni az alkalmazott szabványokat, ami egy későbbi ellenőrzés, áttervezés stb. során fontos és hasznos lehet. Részletesen ld. jelen útmutató 5.2.4 fejezet (G1.2 bekezdés).

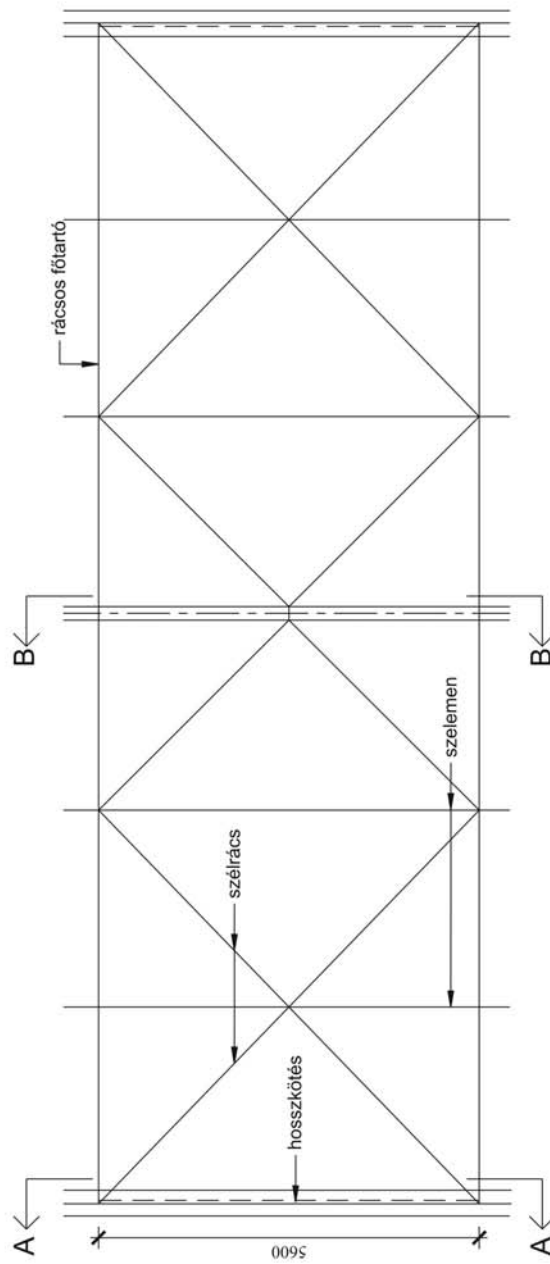
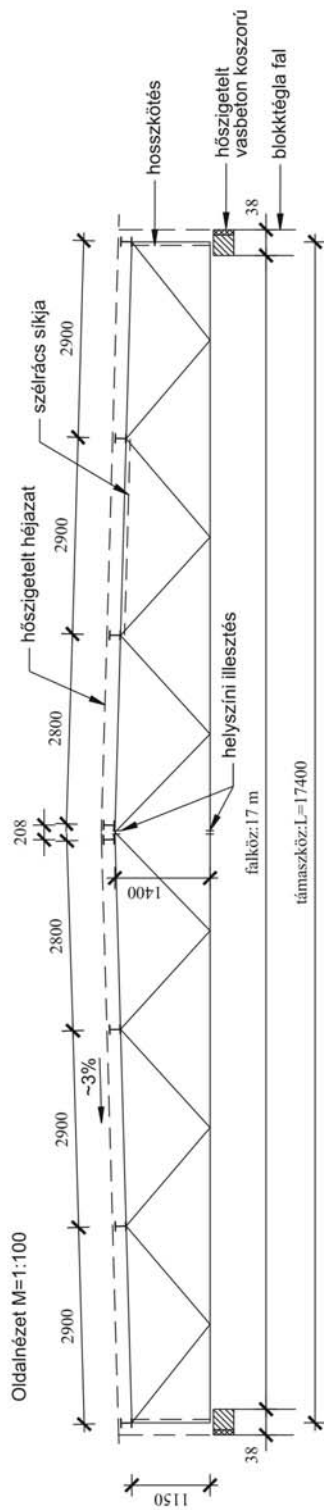
R 1.3. Anyagminőségek, a mechanikai jellemzők karakterisztikus értékei

Ebben a szakaszban meg kell adni az alkalmazott anyagok minőségét és a számítás során figyelembe vett mechanikai jellemzőiket. Az alapanyag minőségét (lényegében a szilárdsági osztályt, ld. az útmutató 2.5. szakaszát) a feladatlap előírja, itt további pontosítást lehet tenni. A részletesen megtervezett szerkezet adatainak (a vastagságoknak és a különböző állapot tényezőknél) ismeretében lehet kiválasztani a pontos anyagminőséget. Ennek részletesebb tárgyalására az Acélszerkezetek II. tárgy keretében kerül sor, ezért itt biztonsággal javasolható az S235JRG2, S275J0 és S355J0 minőségű csillapított acélok használata. Fontos, hogy egy szerkezet tervezésekor az anyagminőség szerepeljen az erőtani számításban, a részletterveken és a műszaki leírásban is. Itt kell megadni az alkalmazott csavarok minőségét is.

R 1.4. Terhek, teherkombinációk

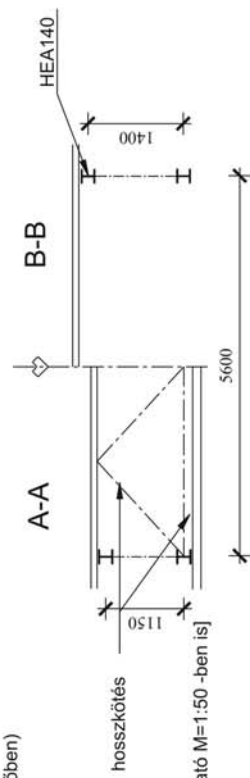
A szerkezetre ható terheket az EC1 különböző részei alapján vesszük fel, tekintetbe véve a nemzeti alkalmazási dokumentumot (NAD) is, amennyiben az adott teherfajta nézve az hazánkra specifikus előírást tartalmaz.

Az állandó terheket (hatásokat) a gyakorlatban súlyelemzéssel határozzuk meg: ehhez a feladat keretében szükséges lenne a tető rétegrendjének és az alkalmazott anyagok sűrűségének ismerete



Méretezési szabványok:
 EN1990: Általános méretezési elvek
 EN1991: Terhelő hatások
 EN1993: Acélszerkezetek méretezése
 Esetleges teher: hóteher
 Acél: S235JRG2
 (MSZ EN 10025:1998)

Felülnézet M=1:100
 (megerősítéses mezőben)



[A metszet rajzolható M=1:50 -ben is]

BME Hidak és Szerkezetek Tanszék
 Épület acél tetőszerkezete
 Rácsos főtartó vázlatlatterve M=1:100
 Tervező: Hallgató Bálint Konz: ...

5.7. ábra: Vázlatlatterv.

(utóbbi az EC1 megfelelő részéből, kézikönyvekből, vagy az alkalmazott anyagok prospektusaiból vehető). Azt a megoldást választottuk, hogy a feladatlapon megadtuk a rácsos tartó felett lévő részekből származó állandó teher karakterisztikus értékét kN/m^2 mértékegységben.

Az alkalmazott kialakításból következik, hogy a szelemenek és a trapézlemez általában többszámú tartók, azaz a trapézlemeztől a szelemenre átadódó megoszló teher, és a szelemenek által az egymás melletti rácsos tartók csomópontjain átadódó terhek nem azonosak. Ennek dacára a magasépítésben az a szokás, hogy ún. kéttámaszú átvitelt alkalmazunk, azaz a teherátadás szempontjából a trapézlemezt és a szelemt kéttámaszúnak tekintjük, miközben méretezésük során természetesen tekintettel vagyunk tényleges statikai vázokra. Kéttámaszú átvitel esetén úgy kapunk csomóponti koncentrált terhet, hogy a felület mentén megoszló terheket megszorozzuk a csomóponti távolsággal és a rácsos tartók egymástól mért távolságával.

A feladatban feltételezzük, hogy a rácsos tartók közötti térben a teljes tartóhossz mentén az épületgépészethez tartozó berendezéseket helyeznek el, amelyekből származó ún. gépészeti teher karakterisztikus értékét adjuk meg. Feltételezzük, hogy ez a teherfajta alkalmasan elhelyezett kiváltások révén az alsó öv csomópontjait terheli, azaz belőle ugyanolyan módon lehet csomóponti terheket előállítani, mint a szelemenek által közvetített terhekből. A gépészeti terhet tekintsük állandó tehernek.

Az állandó teher speciális fajtája az ön súly, ami pontosan a szerkezet teljes megtervezése után állapítható meg. A tervezés elején becslésre kell szorítkoznunk, ami természetesen tapasztalatokon alapszik, és amelyet a rácsos tartó által lefedett alapterület 1 m^2 -ére szoktak megadni. Biztonságos, gyakran erősen biztonságos becslést tehetünk, ha $g [\text{kN/m}^2] = 0,01 \cdot L [\text{m}]$ értéket veszünk fel, azaz pl. 20 m fesztávolságra $0,2 \text{ kN/m}^2$ értékkel számolunk. Ebből természetesen ugyanúgy kell csomóponti terhet számolni, mint a már említett esetben.

Ha teherbírási vizsgálatot kívánunk végrehajtani, az állandó terheket $\gamma_G = 1,35$ biztonsági tényezővel szorozzuk, illetve ha az a kedvezőtlenebb, akkor 1,0-val (ez pl. a rácsos tartónál akkor fordulna elő, ha a tetőre az állandó terhekkal ellentétes értelmű szélszívás működne).

Az esetleges terhek közül a meteorológiai terhek, és az azokkal nem egyidejűleg figyelembe veendő, a tető karbantartásához tartozó tetőteher jöhetnek szóba. Utóbbit rögtön kizárhatjuk, mert értéke biztosan kisebb a figyelembe veendő hőtehernél.

A meteorológiai terhek közül vizsgáljuk meg először a hőteher felvételének kérdését. A szabvány szerint a tetőre ható hőteher értéke:

$$s = \mu_i c_e c_t s_k \quad (5.1.1)$$

ahol: μ_i a hőteher alaki tényezője (15 foknál kisebb hajlású nyeregtető esetén 0,8);

c_e a szél miatti csökkentő tényező, melynek értéke általában 1,0;

c_t hőmérsékleti csökkentő tényező, melynek értéke általában 1,0;

s_k a felszíni hőteher karakterisztikus értéke kN/m^2 -ben.

A felszíni hőteher karakterisztikus értékét hazánkra a jelenleg érvényben lévő MSZ ENV 1991-2-3 NAD-ja a következőképpen definiálja:

$$s_k = 0,25 \left(1 + \frac{A}{100} \right) \text{kN/m}^2 \quad (5.1.2)$$

ahol A a talaj felszínének tengerszint feletti magassága méterben.

A Magyarország teljes területére $s_k \geq 1,25 \text{ kN/m}^2$.

A hőteher biztonsági tényezője $\gamma = 1,5$.

A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy a hóteherrel kapcsolatban speciális esetek is adódhatnak, mint pl. hófelhalmozódás arra érzékeny szerkezeteken, a tető szélén túlnyúló hó, vagyis esetenként indokolt lehet a szabvány alaposabb tanulmányozása.

A meteorológiai terhek másik fontos fajtája a szélteher, amelynek számszerű meghatározása a hótehernél lényegesen hosszadalmasabb számításokat igényel. A feladat esetében ezt a teherfajta nem vonjuk be a számításba, mert 15 fok hajlás alatti nyeregteretőknel csak szélszívást kell figyelembe venni, ami a hóteherrel ellentétes hatású. A korábban leírtaknak megfelelően ilyen esetben a $\gamma = 1,0$ biztonsági tényezővel számolt állandó terhekkel kombinálva kellene megvizsgálni, hogy vajon megfelel-e nyomásra az egyébként húzottnak tervezett alsó öv. Aláhúzza azt a tényt, hogy ilyen vizsgálatra a gyakorlatban szükség van, attól ezúttal eltekintünk. Megemlítjük, hogy a szélteher számításba vételével hallgatónk a Magasépítési acélszerkezetek tárgy keretében részletesen megismerkedhetnek.

Tartós tervezési állapotban, teherbírási határállapotok vizsgálata esetén a különböző terheket a következőképpen kell kombinálni:

$$\sum_i \gamma_{Gi} G_{ki} + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \sum_{j \neq i} \psi_{0j} \gamma_{Qj} Q_{kj} \quad (5.1.3)$$

Az első szummajel mögött a különböző állandó terhek biztonsági tényezővel szorzott karakterisztikus értékei vannak, a második tagban a „kiemelt” esetleges terhet szorozzuk a biztonsági tényezőjével (esetenként próbálgatással kell meghatározni, hogy melyik terhet kell kiemelni), végül a második szummajel mögött az összes többi esetleges teher van, amelyeket azonban a biztonsági tényezőik mellett a kombinációs tényezőikkel (ψ_{0j}) is meg kell szorozni. A kombinációs tényezők azt veszik figyelembe, hogy nem várható egyidejűleg az összes esetleges teher tervezési értékével való fellépése. A meteorológiai terhek kombinációs tényezője 0,6.

Tekintettel arra, hogy a feladat keretében csak egy esetleges teherrel (a hóteherrel) számolunk, a kombinációs képletnek csak az első két tagját kell figyelembe venni.

Acélszerkezetek használhatósági határállapotra való vizsgálatakor (pl. tartók lehajlásvizsgálata) az ún. ritka kombinációt kell használni, amely az előbbitől csak abban különbözik, hogy nincsenek benne biztonsági tényezők:

$$\sum_i G_{ki} + Q_{k1} + \sum_{j \neq i} \psi_{0j} Q_{kj} \quad (5.1.4)$$

R 2. A trapézlemez méretezése

A trapézlemez méretezését nem kell elvégezni. A hazai gyakorlatban különböző márkájú (pl. Lindab, METAB, Hairoville, Rannila) trapézlemezek állnak rendelkezésre. A gyártó cégek általában méretezési táblázatokat bocsátanak a tervezők rendelkezésére, amelyeknek a használatával a megfelelő lemeztípus és vastagság egyszerűen kiválasztható. Természetesen figyelemmel kell lenni a teherbírási és a használhatósági határállapotokra is. Fontos tudni azt, hogy a táblázati értékeket milyen szabvány előírásai szerint számították, mert a mértékadó teherkombinációkat ugyanazon szabványcsalád szerint kell meghatározni.

R 3. A szelemenek méretezése

A szelemenek méretezését nem kell elvégezni. Szelemenként különböző típusú, sőt statikai rendszerű hidegen hajlított, illetve melegen hengerelt szelvények alkalmazhatók. Többnyire egyedi számításokat igényelnek, de például a tűzi horganyzott Z és C Lindab szelemenekre tervezési táblázatok is rendelkezésre állnak.

R 4. A rácsos főtartó méretezése

A tervezési feladat erőtani számításának túlnyomó részét ez a fejezet teszi ki.

R 4.1. Statikai váz, csomóponti terhek

A tartó kéttámaszú, egyik végén fix csuklós, a másikon görgős megtámasztással. Kézi számítás esetén a csomópontokat természetesen csuklósaknak tekintjük. A csomópontokat be kell számozni: kézi számítás során szokásos és ajánlható az a módszer, amely az alsó csomópontoknak páros (0-tól induló), a felsőknek páratlan számot ad, így a rácsrudak egyik vége páros, a másik vége páratlan lesz. A szimmetriát kihasználva szoktuk az egyik tartófélen a csomópontokat vesszős jelöléssel ellátni. Gépi számítás esetén a mai programok maguk készítik el a csomóponti számozást.

Gépi számítás végzésére többféle program érhető el a hallgatók számára. Léteznek kifejezetten rácsos tartók számítására kifejlesztett programok, amelyek abban az esetben, ha a számításhoz nem kell megadni rúdkeresztmetszeteket, nem alkalmasak lehajlás számítására, ezért nem javasoljuk a használatukat. Az általános rúdszerkezeti programok használatakor a tartót lehet csuklós csomópontú rácsos tartóként definiálni (a rudaknak keresztmetszeti területet adva), vagy merev csomópontú rúdszerkezetként, ami a valós csomóponti kialakításokat jobban modellezi. A kétféle megoldás a normálerőkre gyakorlatilag ugyanazt az eredményt adja. Lényeges különbség szokott viszont adódni a lehajlásoknál, ugyanis a merev csomópontú rúdszerkezeti számítás néhány tíz %-kal kisebb értékeket ad (ez jóval közelebb áll a valósághoz). Ha valaki a rúderőket gépi programmal számítja, akkor természetesen a lehajlást is azzal a programmal határozza meg.

A csomóponti koncentrált terheket az 1.4. szakaszban már leírt módon határozhatjuk meg a kN/m^2 mértékegységben rendelkezésre álló állandó és hőteherből (esetünkben ezzel a két teherfajtaival kell számolni), azaz a teherintenzitást megszorozzuk az adott csomópontoz tartozó terhelési mezővel. A tartó közepén ható teher felvételénél figyelembe lehet venni, hogy a felső öv törése miatt a szelement duplázni kell (nagyobb önsúly). A legalsó (eresznél lévő) szelemenről átadódó tehernél gondoljunk arra, hogy az eresz túlnyúlik az épület külső homlokzati síkján, azaz az ottani teher nem fele a következőnek. A különböző vizsgálatokhoz kétféle kombinációban kell meghatározni a terheket: biztonsági tényezővel szorzott és azok nélküli kombinációban az (5.1.3) és (5.1.4) képletekkel.

R 4.2. A rúderők meghatározása

A rúderőket többféle módon lehet meghatározni a teherbírási vizsgálatokhoz használt, biztonsági tényezőket is tartalmazó kombinációból (5.1.3). Mivel a terhelés nem mozgó, teljesen indokolatlan lenne hatásábrákat készíteni.

„Ösi” módszer a Cremona-erőterv készítése, amely szerkesztéses eljárás, kellően nagy méretarány esetén pontosnak is nevezhető. Régebbi Mechanika tankönyvekben fellelhető, természetesen a módszer a XXI. század elejének szellemével nem harmonizál.

Kézi számítás esetén a Statika tárgyban tanult összes módszer használható a rúderők meghatározására. Gondolni kell arra, hogy a számításban alkalmazott módszertől eltérő más módszerrel ellenőrizzünk egy-két rúderőt.

Gépi számítás esetén valamilyen megfontolás alapján el kell készíteni a rácsos tartó szelvényezését. Ez történhet pl. előzetes kézi számítás vagy egyszerű becslés alapján. Fontos, hogy a rudak megtervezése után a valós szelvényeket be kell tenni a programba, és azt újra le kell futtatni. A lehajlásra csak így kaphatunk megfelelő értékeket, de a rúderőket is össze kell hasonlítani a korábbiakkal. Gépi számítás esetén különösen fontos a megfelelő dokumentálás: a bemenő adatok és az eredmények a tervező és az ellenőr vagy más szakember számára is követhetők, világosak legyenek. Ennek érdekében ábrákat és táblázatokat kell közölni. Leggyakoribb hiba az lehet, ha nem a szándékolt terhelés kerül a tartóra, ezért feltétlenül indokolt összehasonlítani a kézzel számolt és eredményként kapott reakcióerő(ke)t. Ezen túlmenően a feladat keretében kézzel is ki kell számítani egy középső övrúderőt (nyilván hármas átmetszéssel) és a szélső rácsrúderőt. A gépi számítás másik teheresete az (5.1.4) szerinti kombináció lesz, amelyre a lehajlási vizsgálatot végrehajtjuk.

A rúderőket rúderőtáblázatba kell foglalni, aminek egyik oszlopa a rúdszámolás (célszerűen a két csomópont megadásával), a másik pedig a kN-ban kapott rúderő. Egy olyan szerkezetnél, amelyre többféle teher működik, a kombinációk száma nő, és gondosan ki kell válogatni a legnagyobb rúderőket. Ha ez a táblázat kézi számítás nyomán készül, akkor célszerű az eredményeket nyomott öv, húzott öv, rácsrudak, stb. sorrendben beírni. Amennyiben a számítás részletei táblázatba vannak foglalva, akkor az említett adatok annak a táblázatnak az első két oszlopát képezhetik.

R 4.3. A rudak tervezése

Kézi számítás esetén a tervező itt szembesül először élesen azzal a problémával, hogy ki kell választania az alkalmazni szándékozott szelvénytípusokat, míg gépi számítás esetén ezt már a rúderők számítása előtt megtette. A szelvényezésre vonatkozólag felállíthatók bizonyos, esetleg egymásnak ellentmondó szempontok, mint például:

- a rácsos tartó síkja minden rúd szelvényének szimmetriasíkja legyen;
- a rúdszelvények magassága a hálózati hosszukhoz képest ne legyen nagy;
- törekedni kell arra a lehetőség határain belül, hogy a nyomott rudak hálózati hossza ne legyen nagy;
- az övrudakat ajánlatos nagyobb hosszban azonos keresztmetszettel kialakítani, mert a szelvényváltás az illesztések kialakításának munka- és időnként anyagigénye miatt célszerűtlen lehet; a húzott rudakat is merev szelvényekkel kell kialakítani;
- zárt szelvényekből készült rácsos tartóknál az övek külmérete és falvastagsága legyen nagyobb a rácsrudakénál; a felcserélhetőség miatt megfontolandó, hogy ugyanazon külmérettel lehetőleg ne alkalmazzunk különböző falvastagságú szelvényeket.

A továbbiakban nagyobb súllyal foglalkozunk azokkal a kérdésekkel, amelyek a házi feladatban előforduló zárt- és H-szelvényű övekből, valamint zárt-szelvényű rácsrudakból készülő tartóval kapcsolatosak, de célszerűnek látszó mértékben kitérünk egyéb szelvénytípusból készülő tartók jellegzetességeire is.

R 4.3.1. Felső (nyomott) öv

A kéttámaszú rácsos tartó felső öve állandó és hótérből végig nyomott, méretezése a domináns tönkremeneteli mód miatt kihajlásra történik. Meg kell vizsgálni a tartósíkban és arra merőleges síkban való kihajlás esetét, speciális esetben (a tartó síkjára nézve szimmetrikus, de csak egyszeres szimmetriával bíró szelvénynél, pl. T szelvénynél) a térbeli elcsavarodó kihajlás esetét is. Feladatunk esetében (zárt- vagy H-szelvényű öv) csak a síkbeli kihajlás két lehetősége jön szóba.

Nagyon fontos a kihajlási hosszak megfelelő felvétele. Tartósíkban való kihajlásvizsgálatnál az általában a csomóponti távolsággal azonos, a számunkra legfontosabb két esetben (zárt és H öv) azonban a csomóponti távolság 0,9-szeresével egyenlő. Tartósíkra merőleges kihajlásnál döntő fontosságú az oldalirányban megtámasztott pontok távolságának meghatározása. Oldalirányú megtámasztást általában a rácsos tartóra merőleges gerendák biztosítanak, amelyek a szerkezet egyes részein tárcsászerű merevséget adó szélráccsal vannak összekapcsolva. A feladat keretében ilyen elemek a csomópontok felett lévő szelemenek, a szélrács megfelelő kialakításáról a vázlattevé készítése során kellett gondoskodni. Ha a leírt feltételrendszer biztosítva van, akkor kijelenthető, hogy a felső öv rúdjai tartósíkra merőleges kihajlaskor általában a megtámasztások közötti távolsággal, mint kihajlási hosszal vizsgálhatók kivéve a zárt szelvényű övet, amelynek kihajlási hossza a megtámasztások közötti távolság 0,9-szerese.

A házi feladat keretében nagy a valószínűsége annak, hogy a zárt szelvényű övrudakat nem lehet az [1]-ben szereplő legnagyobb négyzet alakú dunaújvárosi zárt szelvényekkel megtervezni. A célszerű megoldás egy négyzet alakú ún. RHS szelvénynek a kiválasztása ezeknek a

szelvényeknek a tanszéki honlapon megtalálható táblázatából. Ennél a szelvénytípusnál elég problematikus a rúderők változásához illeszkedő váltás, mert i) semmiképpen sem célszerű a szelvény befoglaló méretének a változtatása (esztétika, illesztési nehézség), ii) a vastagságváltás problémájára már korábban utaltunk (az utólagos ellenőrzés nehéz), és az sem kedvező, ha a tartóvégi erősebb rácsrudak kis falvastagságú övhöz csatlakoznak. Ezért valószínűleg célszerű végigvinni a megtalált, a legnagyobb rúderő helyén gazdaságos szelvényt.

A tervezés során itt sem lehet mást tenni, mint általában a nyomott rudaknál: fel kell venni egy szelvényt és azt ellenőrizni kell, majd az eredmény láttán azt elfogadni, vagy módosítani. Fel lehet tételezni valamekkora 1 -nél kisebb χ tényezőt, és abból kiszámítani a szükséges keresztmetszeti területet, de el lehet indulni egyszerű becsléssel is (nyilvánvaló, hogy a szükséges szelvény terület F_{Ed}/f_y -nál nagyobb lesz). A jó megoldás valahol a súlyminimum környékén található. Két ok miatt nem célszerű kis befoglaló méretű, nagy falvastagságú szelvényt választani: egyrészt a rácsrudakat hegesztéssel be kell kötni az övhöz, amelynek sarkai le vannak kerekítve, azaz a jó kapcsolat érdekében a legszélesebb rácsrúd szélessége is legyen kisebb az övénel (erre vonatkozóan az EN 1993 idevágó része előírásokat is tartalmaz), másrészt a kisebb befoglaló méretű, vastag szelvénynek a tehetetlenségi sugara a keresztmetszeti területéhez képest kedvezőtlenebb, mint a szélesebb, kisebb vastagságúé. Kidolgozott számpélda található a 3.4.1. szakaszban.

Mint arra már korábban is utaltunk, napjainkban elsősorban nagy fesztávolságú és/vagy terhelésű tartóknál melegen hengerelt I-szelvényeket is alkalmaznak rácsos tartók öveként. Az IPE- és H-szelvények közül utóbbiak alkalmasabbak erre a célra szélesebb övük és a gyenge tengelyre vonatkozóan kedvezőbb tehetetlenségi sugaruk révén.

A házi feladatban előforduló tartóknál a HE-A szelvénytípus javasolható: HE-B esetén szerkezeti szempontból kedvezőtlenül kisméretű szelvények adódhatnak, a HE-AA szelvények pedig főleg S235-nél nagyobb szilárdságnál 4. osztályúvá is válhatnak, amelyek kezelése túlmutat a félév tananyagán. A leírtakból következik, hogy szelvényváltást a feladat keretében nem javasolunk, bár általában ez a szelvénytípus alkalmas a rúderők változásának követésére azonos méretű, de különböző betűjelű szelvények használatával (különösen nagy fesztáv esetén, mint amilyen pl. a budapesti Papp László Aréna). Megemlítjük, hogy a szóba jövő H-szelvények jellemző gyártási hossza 12 m.

A nyomott övet osztott szelvénnel is meg lehetne tervezni: a rúd célszerűen kétfalú, a részszelvény lehet melegen hengerelt U, hidegen hajlított U vagy C, zárt szelvény, stb. A részszelvények egymástól mért távolságát a legnagyobb rácsrúd szélességre kell felvenni, és ezt az értéket természetesen állandónak kell tartani a tartó hossza mentén. Az ilyen típusú szelvények EC3 szerinti méretezésének előírásait egy kidolgozott számpéldával együtt jelen útmutató 5.3. szakasza tartalmazza.

Ha T szelvényű öveket használnánk egy rácsos tartóban, akkor a térbeli elcsavarodó kihajlás lehetőségének figyelembevétele mellett további szempontok is felmerülnek. Abban az esetben is állandó övmagasságot indokolt tartani: a tartó végén még nagyobb szükség van a bekötések nagyobb hosszigénye miatt a gerincre. A rúderő változásához úgy lehet alkalmazkodni, hogy pl. H-szelvények alkalmazása esetén ugyanabból a méretből a nagy rúderők helyén a vastagabb gerincű és övű B jelű szelvényt használjuk, amit a tartó szélén a kisebb vastagságú A jelűre cserélünk.

R 4.3.2. Alsó (húzott) öv

A házi feladat keretében az előző szakaszban említettekhez hasonló megfontolással választhatunk ki egy alkalmas zárt szelvényt azzal a különbséggel, hogy itt természetesen nincs kihajlás. A húzott zárt szelvények legkézenfekvőbb illesztési módja az alátétlemezes tompavarrat (lásd később), amelyet gyári kapcsolatokban alkalmazni illik (a tompavarrat mérete különben nem kontrollálható). Ez a fajta kapcsolat helyszínen is alkalmazható, de amennyiben a húzott

rúdon mégis csavarozott helyszíni illesztés van, akkor a rúd méretezésekor az esetleges lyukgyengítésre is tekintettel kell lenni.

H-szelvényű öv esetén a felső övhöz hasonlóan itt is HE-A szelvény javasolható szelvényváltás nélkül. Csavarozott kapcsolat esetén természetesen figyelemmel kell lenni a lyukgyengítés hatására.

Osztott szelvény esetén legcélszerűbb nyitott részszelvények alkalmazása, és az ellenőrzéskor tekintettel kell lenni a csavarlyukak okozta esetleges gyengítésre.

Ha egyéb típusú szelvényt alkalmaznánk a húzott övben, akkor meg kell fontolni, hogy érdemes-e a szelvényt változtatni és hogyan, valamint ugyancsak tekintettel kell lenni a csavarlyukak okozta esetleges gyengítésre.

R 4.3.3. Rácsrudak (összekötő rudak, oszlopok)

Az 5.8. ábra a teljesség igénye nélkül rácsrúdként alkalmazható szelvényeket mutat, egyúttal bemutatva lehetséges csomóponti bekötésüket is.

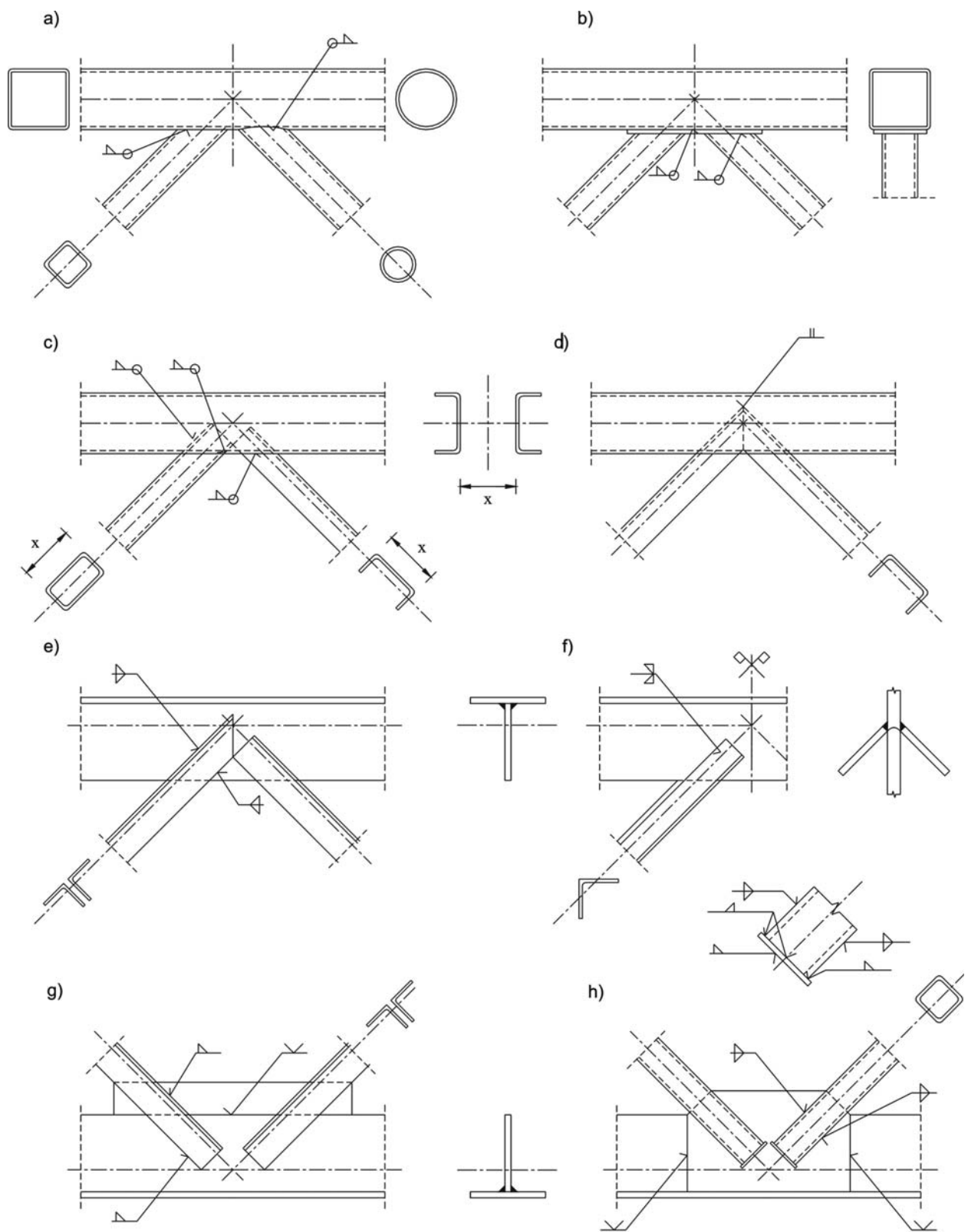
A házi feladat keretében a rácsrudakat is zárt, négyzet alakú rudakkal alakítjuk ki, amelyek végeit a szükséges szögben levágjuk, és körben az övhöz hegesztjük (5.8. a ábra). Ezeket a rudakat általában meg lehet tervezni a DUNAFERR választékából (olcsóbbak, mint az RHS szelvények). Kialakult szokás, hogy a rácsrudakat legalább párosával azonos szelvényvel tervezik meg: kihajlásra méretezik a pár nyomott tagját, és ugyanazt a szelvényt húzott rúdként is alkalmazzák. Nem feltétlenül célszerű túl sokféle szelvényt alkalmazni, mert az nehezíti az anyagbeszerzést, de ugyanakkor természetesen gazdaságtalan lenne végig azonos szelvények beépítése. Esztétikai szempont, hogy a támasztól a tartóközép felé haladva fokozatosan csökkenjen a rudak oldalmérete. A már korábban ismertetett ok miatt erősen megfontolandó változó falvastagságú, azonos befoglaló méretű szelvények alkalmazása. Az 5.8. b ábra olyan esetet mutat be, amikor az öv vastagság kicsi és/vagy a rácsrúd keskeny, ezért az övre helyileg egy olyan vastagító lemezt (ún. papucsot) hegesztenek rá, amely a lokális tönkremenetellel szemben erősíti az övet.

A nyomott rácsrudak kihajlási hosszát az EC3 szerint tartósíkban való kihajláskor kellően merev kapcsolat esetén (a hegesztés ilyen) általában $v=0,9$ szorzóval lehet számítani (szögvasakra külön előírások vonatkoznak). Tartósíkra merőleges kihajláskor a kihajlási hossz általában a hálózati hosszal egyenlő. Kivételt képez ez alól a zárt szelvényű öv- és rácsrúd esete, amelynél $v=0,9$ szorzót lehet alkalmazni. Megemlítjük, hogy az utóbbi esetben speciális szelvény arányok fennállása esetén mindkét irányú kihajlásra ennél kisebb szorzó is alkalmazható, amellyel kapcsolatban utalunk az EN 1993-1-1 megfelelő függelékére.

Az EC3 nem ad korlátot a nyomott rudak karcsúságára, de célszerűnek látszik alkalmazkodni a megelőző magyar szabvány, az MSZ 15024-1 $\lambda_{\max}=150$ előírásához. Hasonló korlátok egyéb európai nemzeti tervezési szabványokban is találhatóak. Az övrudaknál valószínűtlen, hogy ezzel az értékkel a tervező konfliktusba kerülhet, de a tartó közepe táján a legkisebb rácsrúd-szelvény kiválasztásakor ez korlátot jelenthet. A teljesség kedvéért megemlítjük, hogy ugyanaz az MSZ a húzott rudakra 400-as, rezgés hatás esetén 250-es korlátot adott.

Kétfalú osztott szelvénynél célszerű lehet a zárt szelvényű rácsrudak használata, de a nyitott szelvényeket sem kell kizárni (5.8. c és d ábra). A zárt szelvényű rudak végét abban az esetben általában kis lemez ráhegesztésével szokták lezárni (lásd az 5.8. h ábrát). Ha a korrózióvédelem tűzihorganyzással készülne, akkor ez a lezárás valószínűleg nem célszerű, ugyanakkor megemlítjük, hogy ha ilyen szerkezetet tervezünk, akkor meg kell ismerkedni azok speciális kialakítási szempontjaival, különös tekintettel a zárt szelvényekre vonatkozó előírásokra (ezek a korrózióvédelmet végző cégtől szerezhetők be).

T szelvényű, vagy más, csomólemezeket alkalmazó kialakításnál a rácsrúd szelvények széles köre használható, amelyekre az 5.8. e-h ábrák mutatnak példákat. A dupla szögacél kritikája a korrózió szempontjából már szerepelt, kihajlásra való méretezéskor figyelembe kell venni a speciális előírásokat. Az 5.8. f ábra szerinti esetben a rudat kellő hosszúságban fel kell hasítani a



5.8. ábra: Csomóponti megoldások különböző szelvények esetén.

bekötéshez, és mivel a felhasítás általában hosszabbra sikerül a bekötő varratnál, a gyengítést a húzott rúd vizsgálatakor le kell vonni a rúd keresztmetszeti területéből. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy szögacél rácsrudak esetére az EC3 külön előírást ad a kihajlási hossz figyelembevételére, amelyek jelen útmutató 3.3.1.c) szakaszában megtalálhatók. Az 5.8. g ábra

olyan esetet mutat, amikor a T szelvény gerince nem elég magas, ezért ún. hozzáhegesztett csomólemezzel növeljük meg a rácsrudak bekötési hosszát. Az 5.8. h ábrán a csomólemez megoldásának legigényesebb megoldása, az ún. kiváltó csomólemez látható, amelyet magasépítési szerkezetben viszonylagos munkaigényessége miatt nem szoktunk alkalmazni, de amelyet a hídépítésben a feszültségkoncentrációk elkerülésére szinte mindig kötelező használni.

R 4.4. A kapcsolatok tervezése

A rácsos tartókat a mindennapi gyakorlatnak megfelelően hegesztett gyári kapcsolatokkal készítjük. A helyszíni kapcsolatok általában csavarozottak, de van olyan eset, amikor a hegesztett kötés ad célszerűbb megoldást. Előfordulhat, hogy a helyszíni hegesztés megfelelő körülményeinek megteremtése nem egyszerű, pl. az építés helyén nincs olyan garantáltan sík felület, ahol a tartót ki lehet fektetni, vagy a magasban való hegesztést célszerű elkerülni.

R 4.4.1. Rúdbekötések

A rúdbekötések megoldása természetesen függvénye annak, hogy milyen típusú szelvény bekötéséről van szó, és hogy milyen övhöz kapcsoljuk a rácsrudat. Az 5.8. ábra a bekötésekre vonatkozóan is megoldásokat mutat. Az 5.8. a ábra bal oldali részén olyan megoldás látható, amelyik jellemzően előfordul a házi feladatban: a kívánt szögben levágott zárt szelvényű rudakat körbevezetett varrattal kapcsoljuk az övhöz. Ugyanígy módon kell a zárt szelvényeket a H-szelvényű övhöz is bekötni. A tompaszögű sarokvarrat helyett célszerű az 5.8. b ábrának megfelelően a szelvény falának élmegmunkálásával tompavarratot (V-varrat) kialakítani. Csőszelvények esetén általában szükség van a rácsrúd végének az áthatás miatti megmunkálására (5.8. a ábra jobboldala). Kétfalú osztott szelvényű öv esetén (5.8. c és d ábra) a rácsrudak bekötésénél különböző helyzetű varratok elhelyezésére van lehetőség. Az 5.8. e és g ábra szerinti megoldásoknál az oldalvarratokon kívül a homlokvarrat is elkészíthető, ami a teherbírás és a korrózióvédelem szempontjából is kedvező megoldás. Az 5.8. f ábrán látható, a felhasításba kerülő varrat inkább tompavarrat jellegű. Az 5.8. h ábra zárt rácsrúdjainak sarokvarratokkal csomólemezhöz való bekötésénél jól láthatók a rúdvégek lezárásai.

A házi feladat szerinti (zárt szelvényű és H/zárt szelvényű) rácsos tartók csomóponti kialakításával részletesen foglalkozik az EN 1993-1-8 7. fejezete. A témához tartozó előírásokat jelen útmutató 4.4. szakaszában számpéldával együtt meg lehet találni, és a számításban azoknak megfelelően kell eljárni.

R. 4.4.2. Helyszíni illesztések

A helyszíni illesztéseket az alkalmazott szelvényeknek megfelelő kapcsolattípusokkal kell megtervezni. Helyszíni illesztések az övekbe kerülnek, kivételesen – nem célszerűen megválasztott illesztési hely és mód esetén – szükségessé válhat egyes rácsrudak helyszíni bekötése is. Mint már korábban utaltunk rá, a házi feladat tartójánál általában célszerű az illesztést középre tenni, aminek révén két szimmetrikus darab gyártható.

Mind zárt, mind H övű tartóknál a felső (nyomott) övben homloklemez kapcsolatot célszerű létesíteni. A homloklemez befoglaló méreteit célszerű minél kisebbre választani, javasolható 4 db M16-os csavart tenni a kapcsolatba (kisebb csavarok alkalmazását ilyen típusú tartókban általában nem javasoljuk). Természetesen ügyelni kell a minimális előírt csavartávolságok betartására, valamint a csavarok elhelyezhetőségére. A megoldást zárt szelvényű övre az 5.9. a ábra mutatja, miként a hegesztett alternatívát az 5.9. b ábra. Hegesztéssel akkor célszerű összekötni a két homloklemez, ha a húzott övbe is hegesztett kapcsolat kerül, ekkor a homloklemezek mérete lényegesen kisebb lehet a csavarozott változaténál. Csavarozott és hegesztett kötéset együtt ugyanabban a kapcsolatban soha ne használjunk. Méretezésre többnyire

nincs szükség, az erőátadás a két tartófél nyomott öve között közvetlen nyomással történik. A H-szelvényű övek közötti kapcsolatot hasonló elvek szerint kell kialakítani.

Az alsó (húzott) övbe általában nem homloklemezkes kapcsolat kerül. Zárt szelvényű öv esetén a legtokéletesebb erőjátékot tompavarratos hegesztett kapcsolattal lehet biztosítani: az egyik zárt szelvénybe körben vékony, keskeny alátétlemezt kell betenni és ott rövid varratokkal, ún. „hefteléssel” rögzíteni, amin a falvastagsággal azonos a méretű, körbefutó tompavarratot (alátétlemezes varrat) lehet a helyszínen készíteni (5.9. c ábra). Ez a módszer alkalmazható a szelvények gyári illesztésekor is. Kevésbé elegáns, de jól alkalmazható módszer az, amikor a szelvény négy oldalára hevedereket tesznek, amelyeket sarokvarratokkal rögzítenek az illesztendő övhöz (5.9. d ábra). Ebben az esetben természetesen méretezéssel gondoskodni kell a hevederek megfelelő keresztmetszeti területéről és a szükséges varrathosszokról.

Ha a helyszíni hegesztést feltétlenül el akarjuk kerülni (például mert a helyszínen nincs lehetőség a tartó pontos helyszíni kifektetésére), akkor az 5.9. e ábra szerinti csavarozott kapcsolatot is lehet alkalmazni, aminek kétségtelen hátránya, hogy a szelvényben egyenletesen megoszló erőt két oldal mentén adjuk át, és a kapcsolat esztétikai megjelenésére is tehető észrevétel. A kapcsolat méretezése során a csavarok számán és távolságain kívül a hevederek méretére is kellő gondot kell fordítani. Kedvezőnek minősíthető, hogy a csavarozott kapcsolat a rúd szelvényében nem okoz gyengítést.

H-szelvényű öv esetén a csavarozott helyszíni illesztést a 4.7. példában bemutatotthoz hasonló módon lehet megoldani, azaz hevederes, nyírt csavaros kapcsolattal. A várható viszonylag kis szelvény méret miatt célszerűnek látszik az öveknél egyszer nyírt kapcsolat alkalmazása: a csavarok teherbírás csökkenését elég jól lehet kompenzálni 8.8-as csavarok alkalmazásával. A csavarok kiosztásakor és a hevederek méretének megállapításakor természetesen figyelemmel kell lenni a szelvény geometriájára, pl. a lekerekítési sugár figyelembe vételére. A szükséges csavarszám megállapításához külön kell megtervezni az övek és a gerinc illesztését, mert a bennük lévő csavarok tervezési ellenállása általában nem azonos.

T szelvényű öveknél, dupla szögacél esetén stb. előnyösen lehet hevederes kapcsolatokat alkalmazni, amelyek csavarozva természetesen az öv gyengítését okozzák. Két példát mutat az 5.9. f és g ábra. A g esetben a gyengítés várhatóan nem okoz problémát, ha a bélésnek jelzett elemet hozzáhegesztik a két szögacélhoz, aminek révén az a szelvény részévé válik, tehát a rúd a csavarozott illesztés szakaszán erősebb keresztmetszetűvé válik, azaz lyukakkal inkább gyengíthető (jobb oldali megoldás).

R 4.5. A lehajlás ellenőrzése

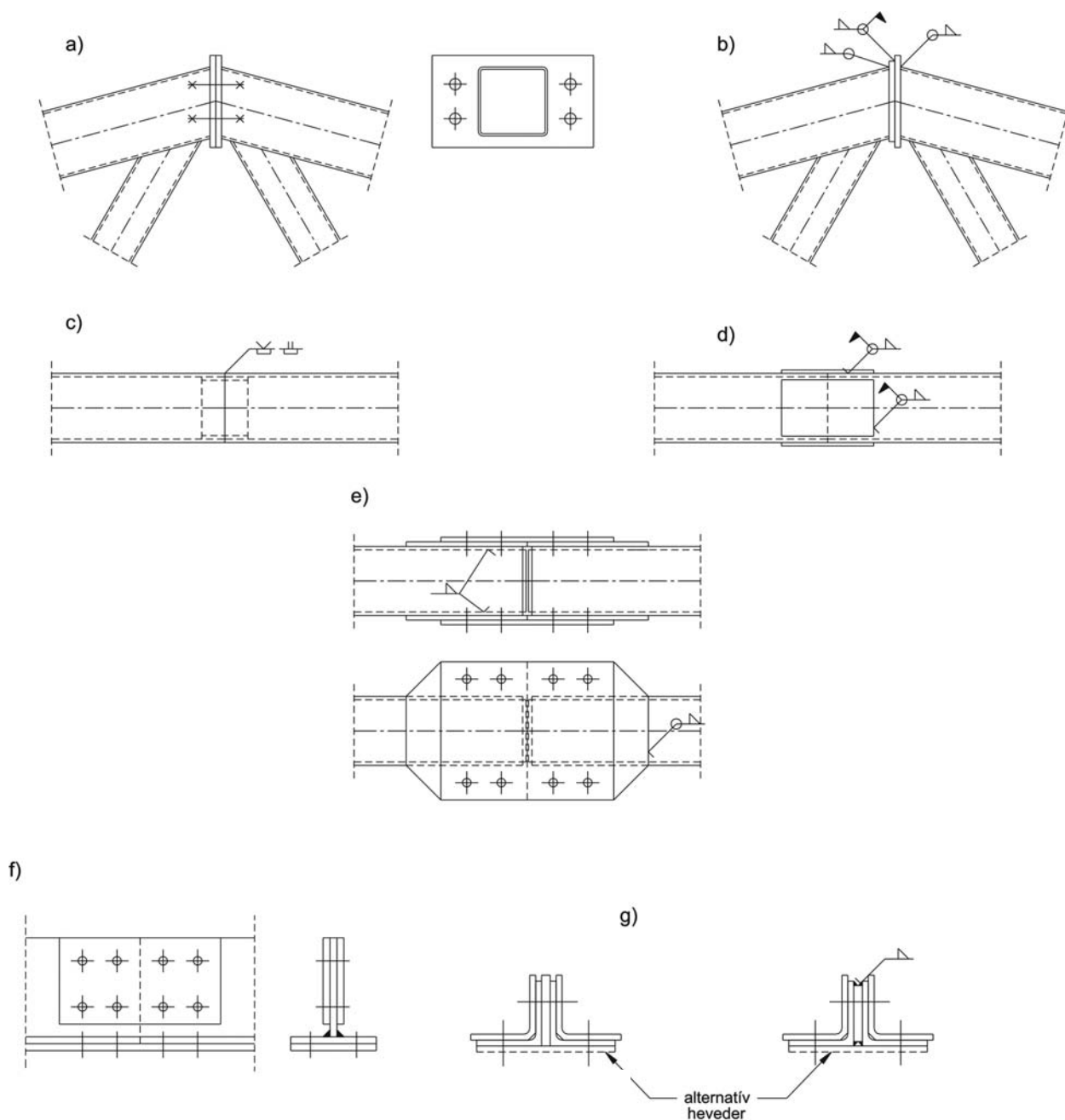
A rácsos tartó közepének lehajlását az (5.1.4) teherkombinációra kell ellenőrizni, azaz biztonsági tényezőkkal nem szorzott terheket kell használni. A tartószerkezeti Eurocode-ok legújabb, magyarra még le nem fordított változata a megbízó és a tervező megegyezésének tárgyává teszi, hogy mekkora alakváltozásokat lehet megengedni, illetve lehetővé teszi, hogy ezt a kérdést a nemzeti mellékletben (jelenleg: NAD) szabályozzák. A jelenleg érvényben lévő MSZ ENV 1993-1-1 ajánlásokat tesz a függőleges lehajlás határértékeire, nevezetesen csak fenntartás céljából járt tetőkre általában $\delta_{max} = L/200$ és $\delta_2 = L/250$ értékeket ad meg. A különböző értékek magyarázata egy kéttámaszú tartón (5.10. ábra):

$$\delta_{max} = \delta_0 + \delta_1 + \delta_2 \quad (5.1.5)$$

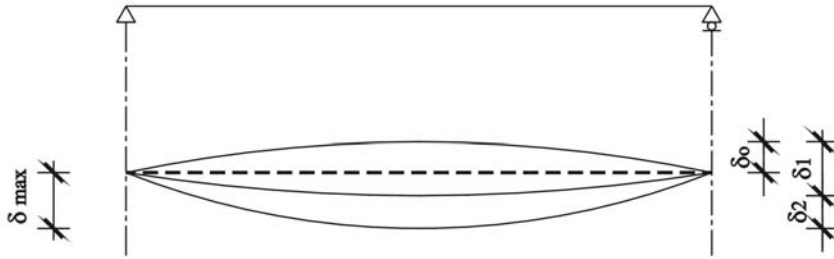
ahol δ_0 a túlemelés a tartó terheletlen állapotában (0. állapot), δ_1 a tartó lehajlásának változása az állandó teher következtében, közvetlenül a terhelés után (1. állapot), δ_2 a tartó lehajlásának változása az esetleges teher következtében, plusz az állandó teherből adódó időfüggő deformációk (2. állapot). Megjegyezzük, hogy acélszerkezet esetén időfüggő deformációval nem kell számolni.

A feladat esetében ne alkalmazzunk túlemelést (ha alkalmaznánk, a tartó alsó övét közepén töréssel, vagy csomópontjait egy görbére illesztve kellene kivitelezni), azaz az alsó öv terheletlen állapotában legyen vízszintes ($\delta_0 = 0$).

A lehajlás számításának többféle módja van. Gépi számítás esetén jogos követelmény, hogy a program számítsa ki a lehajlást is (ld. korábbi megjegyzésünket). Ahhoz, hogy a számítás minél pontosabb legyen, a végső számításban a ténylegesen alkalmazott rúdkeresztmetszeteket kell alkalmazni. Mint már utaltunk rá, a végeredményt a modellválasztás (rácsos tartó/merev csomópontú rúdszerkezet) befolyásolja. Kézi számítás a munkatétel alkalmazását jelenti, amely azonban nagyon munkaigényes, ezért használatát a feladat keretében nem javasoljuk.



5.9. ábra: Övillesztések.



5.10. ábra: Kéttámaszú tartó lehajlási korlátja.

Jó mérnöki közelítést ad a kéttámaszú, egyenletesen megoszló erővel terhelt gerenda lehajlásának számítására vonatkozó, a körülményeket figyelembe vevően (nem állandó tehetetlenségi nyomaték, koncentrált erők) kissé módosított következő képlet:

$$\delta = \frac{5,5}{384} \frac{qL^4}{EI_{max}} = \frac{5,5}{48} \frac{M_{max}L^2}{EI_{max}} \quad (5.1.6)$$

A tetőhajlás növekedésével a képlet egyre pontatlanabbá válik, de a feladatnál fogadjuk el ebben a formájában. A képlet második részében szereplő M_{max} -ot biztonsági tényezőkkel nem szorzott terhekből kell kiszámítani.

I_{max} közelítő értékét a rácsos tartó tömör tartóhoz viszonyított kisebb nyírási merevségének figyelembevételével a következő képlettel szoktuk számítani:

$$I_{max} \cong 0,8(I_f + A_f a_f^2 + I_a + A_a a_a^2) \quad (5.1.7)$$

ahol I_f, I_a - a felső és alsó öv tehetetlenségi nyomatéka saját súlyponti tengelyére,

A_f, A_a - a felső és alsó öv keresztmetszeti területe,

a_f, a_a - a felső és alsó öv súlypontjának távolsága a középső keresztmetszetben az egész tartó súlypontjától.

R. 4.6. A rácsos tartó részletterve

A számítás befejezése után következik a részletterv elkészítése. A részlettervet a feladatlap követelményei szerint kell elkészíteni, általában a következőknek kell rajta szerepelnie:

- A fél rácsos tartó (és még egy kis szakasz) oldalnézete a szelemenek rögzítésére szolgáló, ráhegesztett szelemenbakokkal M=1:15 méretarányban.
- A fél főtartó felülnézete a felső övre merőleges nézetben, a szélrács csomólemezeinek és a rúdbekötéseknek a feltüntetésével (szélrácsrúdként szögvasat lehet ábrázolni) M=1:15 méretarányban.
- A rácsos tartó hálózata M=1:100 méretarányban, egyik felére a rudakra milliméter pontossággal ráírva az elméleti rúdhosszakat.
- Az egyértelműséghez szükséges részletrajzok (pl. illesztések, egyes rúdbekötések, rögzítés a koszorúhoz stb.) a szükséges számú nézetben, illetve metszetben. Feleslegesen nem kell részleteket rajzolni, indokolatlanul nagy méretarányú rajzokra nincs szükség.
- Tételkimutatás, amely a gyakorlatban általában A4-es lapokra készül (elsőként az anyagbeszerző használja), de ha van hely, a feladat keretében rátehető a rajzra is. A fejlécre mintaként az 5.1. táblázat szolgál.

Az acélszerkezeti részlettervek készítése fegyelmezett, precíz munkát kíván. Régi mondás, hogy egy acélszerkezeti rajzot nem lehet befejezni, csak abbahagyni. Arra kell törekedni, hogy ez

minél magasabb szinten következzenek be, aminek fokmérője az egyetemen, hogy az oktató beveszi a rajzot. A tervezőnek, illetve a szerkesztőnek szüntelenül fel kell tennie magának a kérdést: ha a kezembe adnák ezt a rajzot, vajon tökéletesen meg tudnám-e mondani a szerkezeti lakatosoknak, hogy mit kell tenniük. Világosnak kell lenniük a globális méreteknél, de tudni kell minden szerkezeti elem méretét is, hol és mekkora lyukak vannak rajtuk stb.

Egy rácsos tartó részlettervének legfontosabb ábrája az oldalnézet, amelynek megrajzolása annak a hálózatnak a felrajzolásával kezdődik, amelyre vonatkozóan a számítás készült. Ún. súlyvonalhálózatot alkalmazunk, ami azt jelenti, hogy a hálózatra a rudak súlyvonalát illesztjük. Elő szokott fordulni, hogy az övrudak szelvénye változik a tartó hossza mentén: ebben az esetben a számítási hálózatra az átlagos súlyvonalat illesztjük, amit hossz szerinti súlyozással határozzunk meg. A merevítőrendszer elemeinél szokásos, hogy a hálózatra nem a szelvények súlyvonalát, hanem a gyökvonalát (azt a vonalat, amelybe a mechanikus kötőelemeket kell tenni) illesztjük (Isd. [1] 79. oldalát).

A csomópontokban a rudak tengelyvonalai egy pontban metszék egymást. Szerkezeti nehézségek esetén (ilyenre korábban a rácsrudak kapcsán már utaltunk) a bekötés néhány tíz milliméteres külpontossággal, a rácsrudak széthúzásával is megoldható, ami statikus terhelésről lévén szó, külön számítás nélkül is elfogadható.

Az 5.11. ábra zárt szelvényekből készült tartónál egy lehetséges megoldást mutat a tartó végének kialakítására és arra, hogy a rajzon milyen módon kell a rudakat, szelvényeket, hosszakat stb. megadni. A függőleges rácsrudat (oszlopot), amelyik a teljes reakcióerőt viseli, levittük a talplemezre, amellyel a tartót leerősítjük az aljzathoz (esetünkben ez vasbeton koszorú). A végén vakrúd alsó öv egy lemez közbeiktatásával csatlakozik az oszlophoz, mert annál szélesebb. A talplemezt – amelybe két lekötő elemet tettünk - érdemes vastagabb anyagból készíteni, hogy a varrat ne tudja túlzottan eldeformálni. A lekötő elemek legalább kétfélek lehetnek:

- Be lehet betonozni egy talpszerelvényt a koszorúba, amely talpszerelvénnyel az ábra szerinti lehet (meghajlított köracél a végein menettel, hozzáhegesztve egy vízszintes lemezhez, esetleg még egy függőleges lemezzel is összekötve). Az elhelyezési pontatlanság korrigálására a rácsos tartó talplemezébe túlméretes lyukat lehet fúrni, és a lekötő csavaranya alá négyzetes, a talplemezhez hegesztett alátétet tenni a csavarméretnek megfelelő lyukkal. Ha az utóbbi lyuk oválisra van fúrva, még tartóirányú mozgást is meg lehet engedni.
- Lehet olyan megoldást is alkalmazni, hogy a rácsos tartó talplemezébe fúrt lyukakat gondos beállítás után átjelölik a koszorúra, majd kifűrés után dübelt vagy beragasztott menetes szárat alkalmaznak a lekötésre.

Fontos a rácsrudak pontos leszállásának megadása. AutoCAD-es rajznál ez viszonylag egyszerűen megállapítható, kézi rajz esetén számítható, vagy célszerű megoldás a csomópontok kb. M=1:2 méretarányban való kirajzolása (nem a terven) és azon a méretek mérésével való megállapítása. Az utóbbi módszer akkor ad jó eredményt, ha a rudak hajlása pontosan ki van szerkesztve. A rácsos tartóhoz szélrács csatlakozik, azaz a vázlettervnek megfelelő helyeken a felülnézeten fel kell tüntetni a felső övhöz hegesztett csomólemezeket (tompavarrattal csatlakoznak az övhöz). Ha a keresztezés helyén a szélrácsot össze akarjuk kötni a szelemennel, a csomólemezt a zárt szelvényű öv tetejével színelve kell elhelyezni. A szélrácsrudak végét a tényleges hajlásszögükkel kell felrajzolni, és célszerűen két csavarral a csomólemezhöz kötni. A rajzon fel kell tüntetni a rúdvég távolságát az elméleti hálózati ponttól, és a csavartávolságot. A csomólemezt pontosan pozícionálni kell a tartó hosszához képest, és kivitelezésre szánt részletterven derékszögű koordinátákkal fel kell tüntetni a csavarlyukak helyét.

A rajzon látható szelemenbakokat (U80x40/3 álló szelvények) U- és C-szelvényű szelemeneknél kell ilyen helyzetben elhelyezni; Z szelemenek esetén 180 fokkal el kell őket fordítani, azaz felülről rögzítik a szelemeneket.

Az 5.12. ábra ugyanazt a tartórészletet H övek és zárt szelvényű rácsrudak esetén mutatja. Itt az alsó öv is végigfut, és a végoszlop a tetején áll. A reakcióerő megfelelő bevezetését alul és felül az övbe hegesztett diafragmák biztosítják. A csomópontok méretezése mutatja meg, hogy kerül-e

máshol is diafragma a szelvénybe. A szélrács csomólemezeket célszerű lehet középtájt a felső öv gerincéhez hegeszteni (ezt a megoldást zárt szelvényű öveknél sem kell teljesen kizárni).

A részletterven minden szerkezeti elemet azonosító jellel, ún. tételszámmal kell ellátni, amely a tételkimutatás (tételjegyzék, „stücklista”) alapja. A tételszámot karikába kell írni (kb. Ø7-8 mm), és mutatóvonallal kell rámutatni arra az elemre, amelyre az vonatkozik. Egy helyen a rajzon a mutatóvonal vízszintes részénél a vonal fölé fel kell írni az elem keresztmetszeti méretét, alá pedig a hosszát. Fontos, hogy ez a teljes méretmegadás a különböző ábrákon megjelenő elemre vonatkozóan csak egy helyen szerepeljen (célszerűen ott, ahol azt mindenki elsősorban keresi), mert gyakran előfordul, hogy a méretek szerkesztés közben változnak, és ha a javítás nem mindenhol történne meg, az komoly ellentmondásokat okozna. Fontos betartani azt a követelményt, hogy minden elemnek, amelyik bármilyen kis mértékben eltér a másiktól, más tételszáma legyen.

A tételkimutatás elkészítéséhez a következő fejlécű táblázatot szoktuk alkalmazni. Ha Excel-táblázatot készítünk, az megkönnyíti a mennyiségek kiszámítását, és csökkenti a hibalehetőségeket. Az *5.1. táblázat* egy elképzelt tartó néhány elemére mutatja be a tételkimutatás készítését.

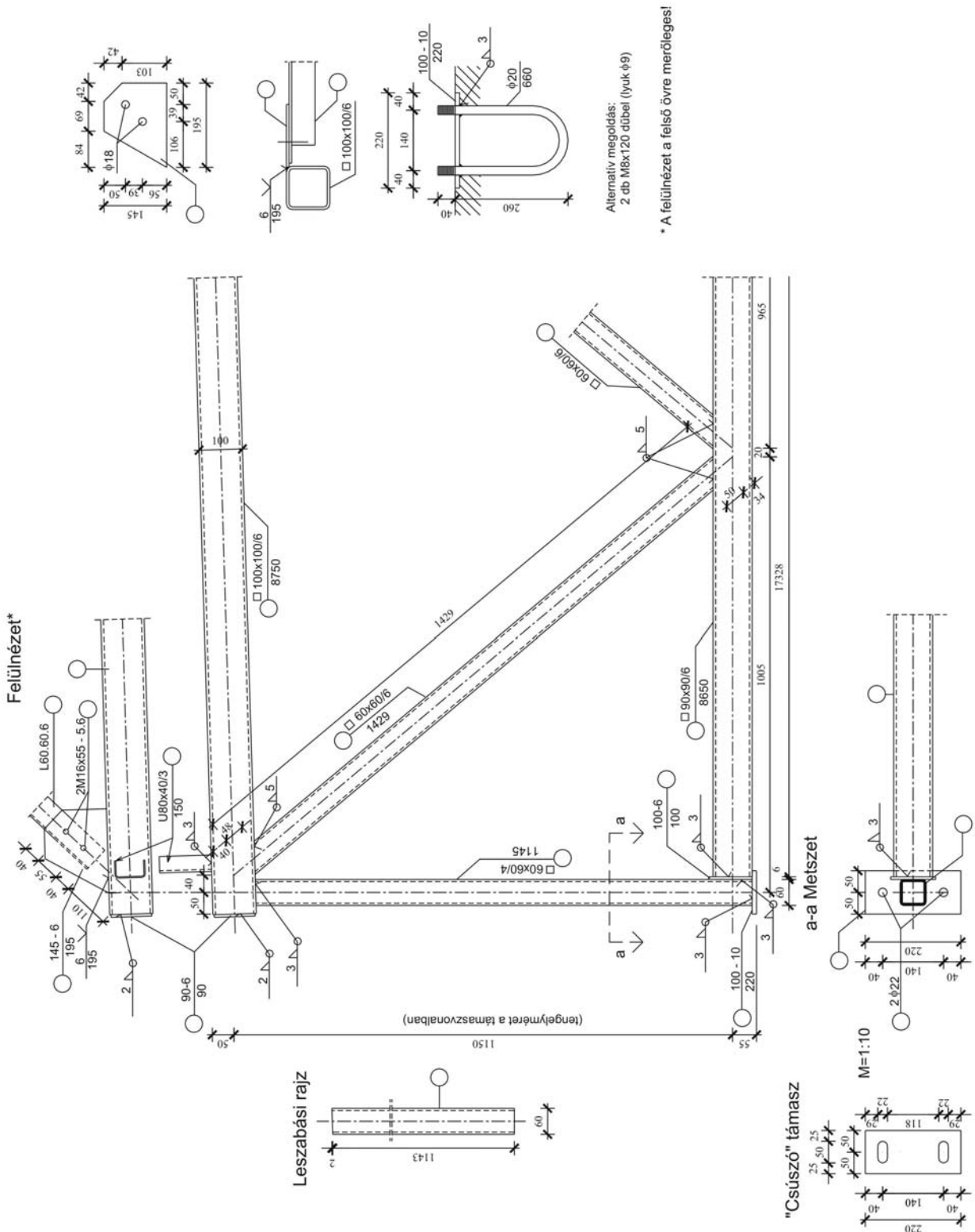
Természetesen alapvető követelmény, hogy az erőtani számítás, a részletterv és a tételkimutatás között teljes összhang legyen. A részlettervet csak a fél rácsos tartóra kell elkészíteni, de a tételkimutatásban az egész tartónak szerepelnie kell. A tételkimutatás utolsó rovata annak a szerkezetnek az összes tömege, amire az készült.

Ki kell mutatni a szerkezetben alkalmazott kötőelemeket is. Ennek fontos lépése az alkalmazott csavarok hosszának megállapítása (az átmérő a méretezésből adódik). Segítségünkre szolgálnak azok a táblázatok, amelyek az [1] 69-71. oldalain találhatóak. Egy nyírt csavarozott kapcsolatban célszerű arra törekedni, hogy a nyírási sík(ok) a csavar hengeres (nem menetes) részén menjenek át. Ennek figyelembevételével lehet a 71. oldali képletből meghatározni a teljes csavarhosszt a 70. oldali b hasznos menethossz és a 69. oldali P menetemelkedés alapján. Említést érdemel, hogy az [1]-ben szereplő szabványszámok a kötőelemekre vonatkozóan általában már nincsenek érvényben: anélkül, hogy tartalmukban érdemi változás következett volna be, MSZ EN szabványokká váltak (kötőelem szabványaink eddig is megfeleltek az ISO-szabványoknak). Ebből az következik, hogy az [1]-ben található adatok továbbra is használhatók. Magasépítési szerkezeteknél általában csak a csavaranya alá írnak elő alátétet, de természetesen a csavarfej alá is tehető. A kötőelemek kiírása során meg kell adni a csavarokat, anyákat és alátéteket aszerint a minta szerint, ahogy azok az [1]-ben szerepelnek, aktualizálva az érvényes szabványszámokkal.

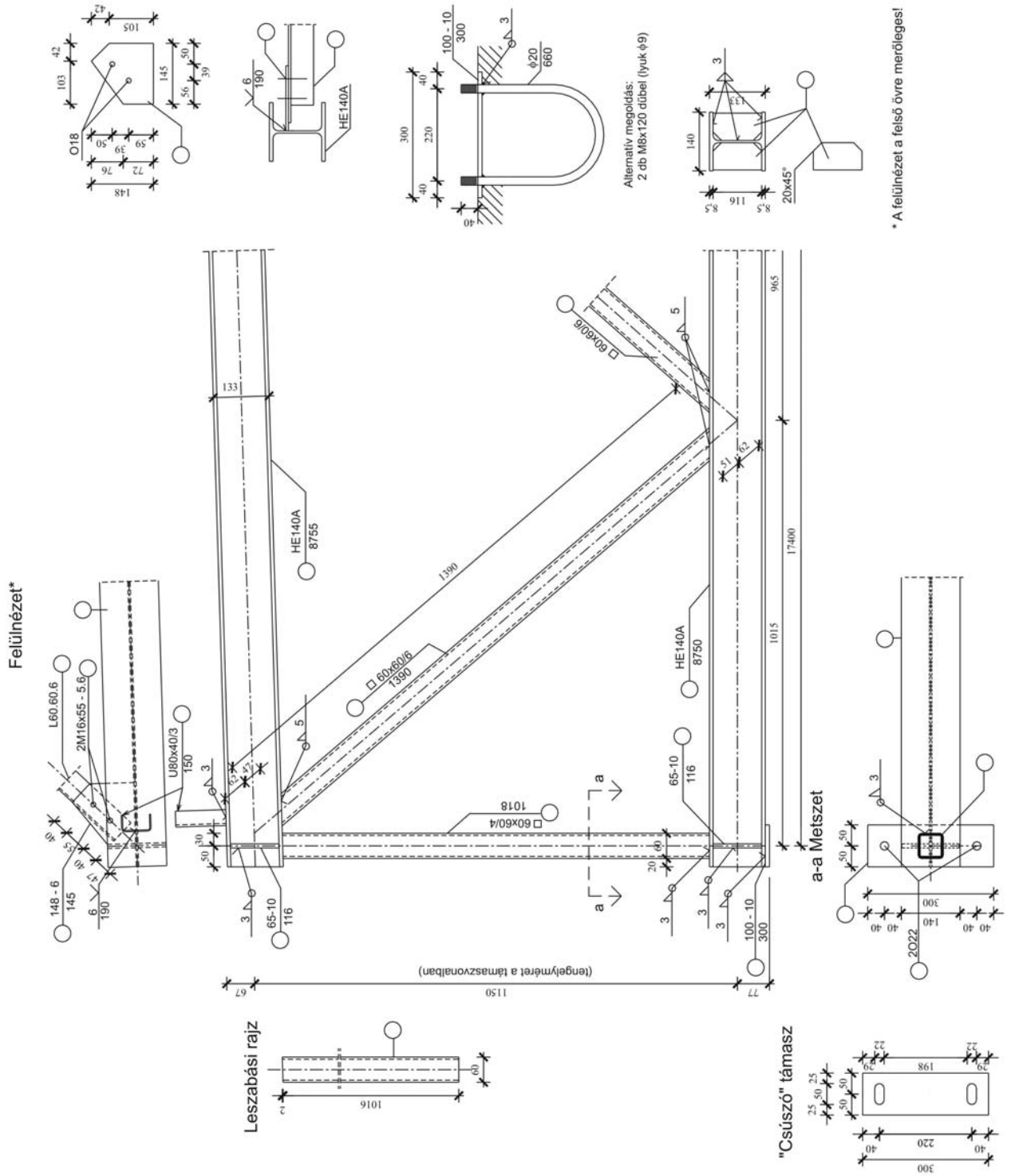
Tsz.	Megnevezés	Db.	Km. méretei	Hossz		Tömeg		Anyag- minőség	Megjegyzés szabvány
				egyés	összes	fajlagos	összes		
			mm	m	kg/m	kg			
10	Csomólemez	12	125-10	455	5,46	9,81	53,56	S235JRG2	MSZ EN
11	Övrúd	4	HE 200 A	8652	34,61	42,30	1464,0		10025
12	Rácsrúd	2	□80x80/4*	3545	7,09	9,22	65,37		Hid.hajl.
13	Szélrácsrúd	2	L60.60.6	4235	8,47	5,42	45,91		
						Σ	1628,8	kg	

*A DUNAFERR nyitott és zárt szelvényeinek keresztmetszeti jellemzőire és tömegadataira különböző kiadványokban egymástól eltérő adatokat is lehet találni.

5.1. táblázat: Minta a tételkimutatás elkészítéséhez.



5.11. ábra: A rácsos tartó végének terve – zártszelvényű övek és rácsrudak.



5.12. ábra: A rácsos tartó végének terve – I-szelvényű övek és zártszelvényű rácsrudak.

5.2. Tömör gerendatartó

5.2.1. Tömör gerendatartó szerkezeti kialakítása és viselkedése

A gerendatartók általában egyenes tengelyű, két- vagy többtámaszú tartók, leggyakrabban csak a hossz tengelyükre merőleges irányú terheket viselnek. Keresztmetszetük alakja jellegzetesen I-hez hasonlít, melynek gerince tömör kialakítású. A tömör gerendákban az igénybevételek (hajlítónyomaték, nyíróerő, ritkábban csavarónyomaték) hatására normál- és nyírófeszültségek keletkeznek. A feszültségek keresztmetszeten belüli eloszlása alapján a tartó övei veszik fel a hajlítónyomaték legnagyobb részét, míg a nyírás szinte teljes mértékben a gerincre hárul. A tömör tartók keresztmetszeti kialakítása ennek felel meg, a gerinclemezek általában vékonyabb, az övek erőteljesebbek, vastagabbak. A továbbiakban azt a szerkezeti elemet tekintjük gerendának, amelyben normálerő egyáltalán nem működik, vagy hatása elhanyagolható mértékű.

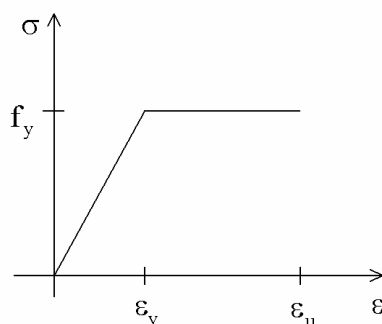
A legegyszerűbb gerendatartót a kereskedelemben beszerezhető késztermékekből (melegen hengerelt vagy hidegen alakított profilacélok) kiválasztott egy darab szelvény beépítésével alakíthatjuk ki. Acéllemezekből is összeállíthatunk I-keresztmetszetet, ekkor összetett szelvényű (más szóval gerinclemezes) tartóról beszélünk. Az alkotólemezek összekapcsolására régebben szegecselést használtak, ma kizárólag hegesztéssel állítják össze a tartókat.

A tömör gerincű tartók szerkezeti kialakításával, típusaival, előnyeivel és hátrányaival a tankönyv [2] 11. fejezete, valamint jelen útmutató 5.1.1 része foglalkozik részletesen.

Tömör tartó tönkremeneteli folyamata

A tömör gerendák tönkremeneteli folyamatát kétnyílású, a nyílásközepeken azonos nagyságú koncentrált erővel terhelt gerenda példáján vizsgáljuk meg (5.15. ábra). A terhelő F_d erőket egy alacsony kezdeti értékről fokozatosan növeljük, és közben megfigyeljük a tartó viselkedését.

A gerenda keresztmetszete legyen kétszeresen szimmetrikus I-szelvény. A keresztmetszet besorolása 1. osztályú, és kellő képlékeny alakváltozóképeséggel rendelkezik. A tartó kifordulását oldalirányú megtámasztások gátolják meg, a horpadási jelenségeket pedig merevítésekkel küszöböltük ki. Feltételezzük, hogy a nyírás nem befolyásolja a tartó hajlítási teherbírását, így most csak a hajlítással foglalkozunk. A tartó anyagát ideálisan rugalmas-képlékenynek tekintjük, a $\sigma - \epsilon$ diagramot az 5.13. ábra mutatja. A vizsgálat során a tényleges tönkremeneteli folyamatot vizsgáljuk, a fizikailag elérhető teherbírást kívánjuk tekintetbe venni, tehát nem használjuk az anyagi ellenállás oldalán előírt γ_{M0} biztonsági tényezőt.



5.13. ábra: σ - ϵ diagram.

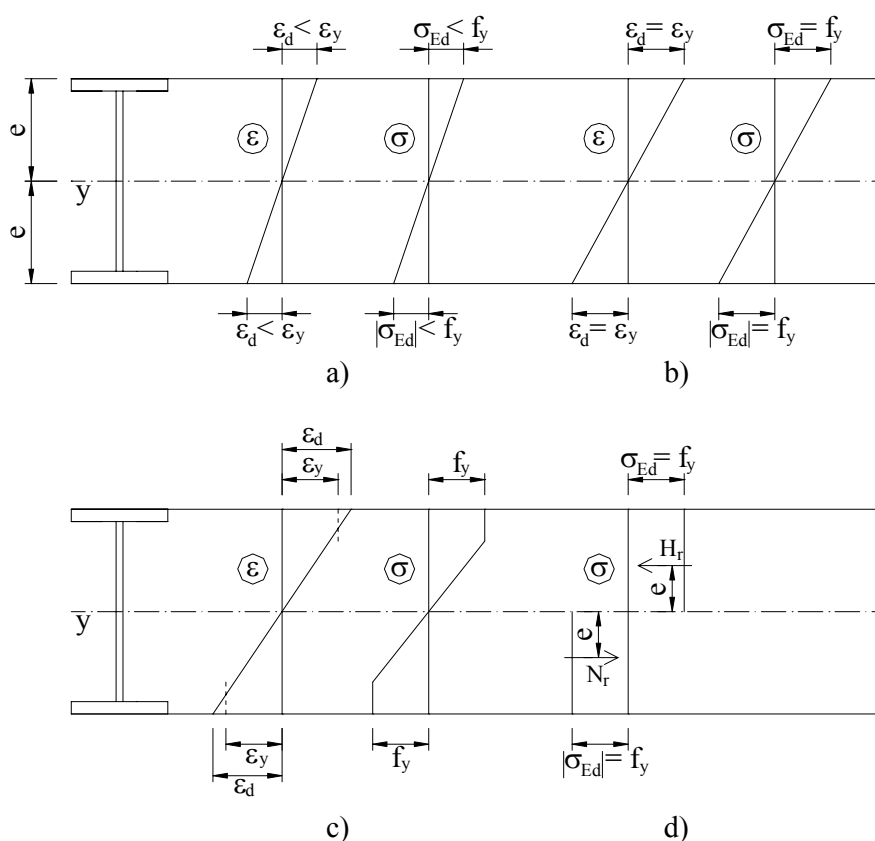
A gerenda igénybevételei az 5.15.a ábra szerint alakulnak, a nyomatékok:

$$\begin{aligned} M_{1d} &= 0,156 \cdot F_d \cdot L \\ M_{2d} &= -0,188 \cdot F_d \cdot L \end{aligned} \quad (5.2.1)$$

A legnagyobb igénybevétel a támaszkeresztmetszetben lép fel. A tartó vizsgált keresztmetszetében létrejövő ε_d megnyúlások mindenütt a folyáshoz tartózkodó ε_y érték alattiak, a σ_{Ed} feszültségek ennek megfelelően mindenütt kisebbek, mint f_y (5.14. a ábra). A feszültségek rugalmas elven számíthatók, a legnagyobb normálfeszültség a szélső szálban ébred:

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{2d}}{W_{el,y}} \quad \text{ahol} \quad W_{el,y} = \frac{I_y}{e} \quad (5.2.2)$$

A teher növelésével (5.15. b ábra) a támasz feletti M_{2d} nyomaték nő, a legnagyobb ε_d nyúlások elérik az ε_y értékét, azaz a támasz feletti keresztmetszet szélső szálaiban a σ_{Ed} normálfeszültség eléri a folyáshatárt (5.14. b ábra).



5.14. ábra: Tömörtartó tönkremeneteli folyamata – alakváltozások és feszültségek.

Ez az *első folyás határállapota*, ami a *rugalmas méretezés* határa. Ekkor mind az igénybevételeket, mind az ellenállást rugalmas alapon számoljuk:

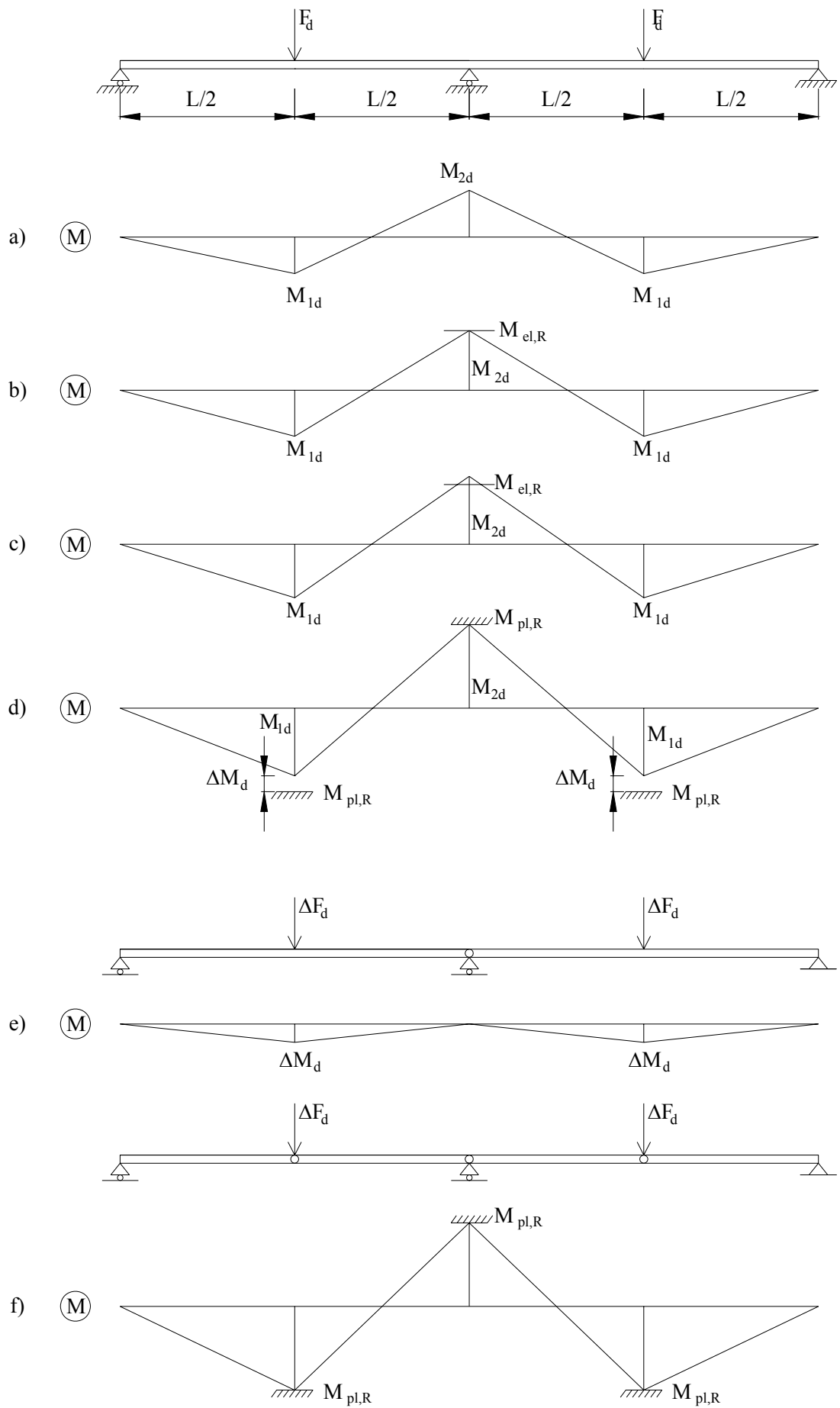
$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{2d}}{W_{el,y}} = f_y \quad (5.2.3)$$

amiből kiszámítható a keresztmetszet rugalmas ellenállása:

$$M_{el,R} = W_{el,y} \cdot f_y \quad (5.2.4)$$

és a tartó rugalmas teherbírása is:

$$F_{el,R} = \frac{M_{el,R}}{0,188 \cdot L} \quad (5.2.5)$$



5.15. ábra: Tömörtartó tönkremeneteli folyamata – igénybevételek.

Ha a teher tovább nő (5.15. c ábra), akkor a támaszkeresztmetszetben a szélső szálakban az ε_d nyúlás meghaladja az ε_y -t, míg a keresztmetszet középső részén alatta marad. A σ_{Ed} feszültségek azonban az 5.13. ábra értelmében sehol nem lépik túl az f_y -t (5.14. c ábra). A keresztmetszet elfordulása tovább nő, mindaddig, amíg a keresztmetszet teljesen képlékennyé válik (5.14. d ábra), a felső félszelvényben f_y nagyságú húzó-, míg az alsó félszelvényben ugyanakkora nyomófeszültség van jelen. Az egyensúlyi feltételekből meghatározható a keresztmetszet képlékeny ellenállása:

$$N_r = -H_r = \frac{A}{2} \cdot f_y \quad (5.2.6)$$

illetve

$$M_{pl,R} = N_r \cdot e + H_r \cdot (-e) = 2 \cdot N_r \cdot e = 2 \cdot f_y \cdot \frac{A}{2} \cdot e = f_y \cdot 2 \cdot S_0 = W_{pl,y} \cdot f_y \quad (5.2.7)$$

ahol a $W_{el,y}$ rugalmas keresztmetszeti modulushoz hasonlóan bevezettük a $W_{pl,y}$ képlékeny keresztmetszeti modulus fogalmát, ami a keresztmetszeti terület felét kitevő szelvényrésznek a semleges tengelyre vett statikai nyomatéka kétszeresével egyenlő (5.16. ábra).

$$W_{pl,y} = 2 \cdot S_0 \quad (5.2.8)$$

A tartó igénybevételeit rugalmas alapon határoztuk meg, az ellenállás számításakor kihasználtuk a keresztmetszet képlékeny (többlet)teherbírását, a tartó rugalmas-képlékeny állapotban van. A legjobban igénybevett keresztmetszet teljesen képlékennyé válik, és kialakul a tartóban az első képlékeny csukló. A tartó képlékeny teherbírása az első képlékeny csukló kialakulásakor:

$$F_{pl,R_1} = \frac{M_{pl,R}}{0,188 \cdot L} \quad (5.2.9)$$

Kérdéses, hogy elértük-e már a tartó teljes tönkremenetelét?

A támasz feletti keresztmetszetben $M_{pl,R}$ nagyságú nyomaték ébred, a mezők közepén ennél ΔM_d értékkel kisebb (5.15. d ábra). A tartó statikai váza a támasz felett keletkezett képlékeny csuklóval átalakul két darab kéttámaszú tartóvá (5.15. e ábra), amelyek ezután egymástól függetlenül működnek. Mindaddig képesek további ΔF_d terhek felvételére, amíg a ΔF_d teherből keletkező nyomaték eléri a ΔM_d értékét.

$$\Delta F_d = \frac{4 \cdot \Delta M_d}{L} \quad (5.2.10)$$

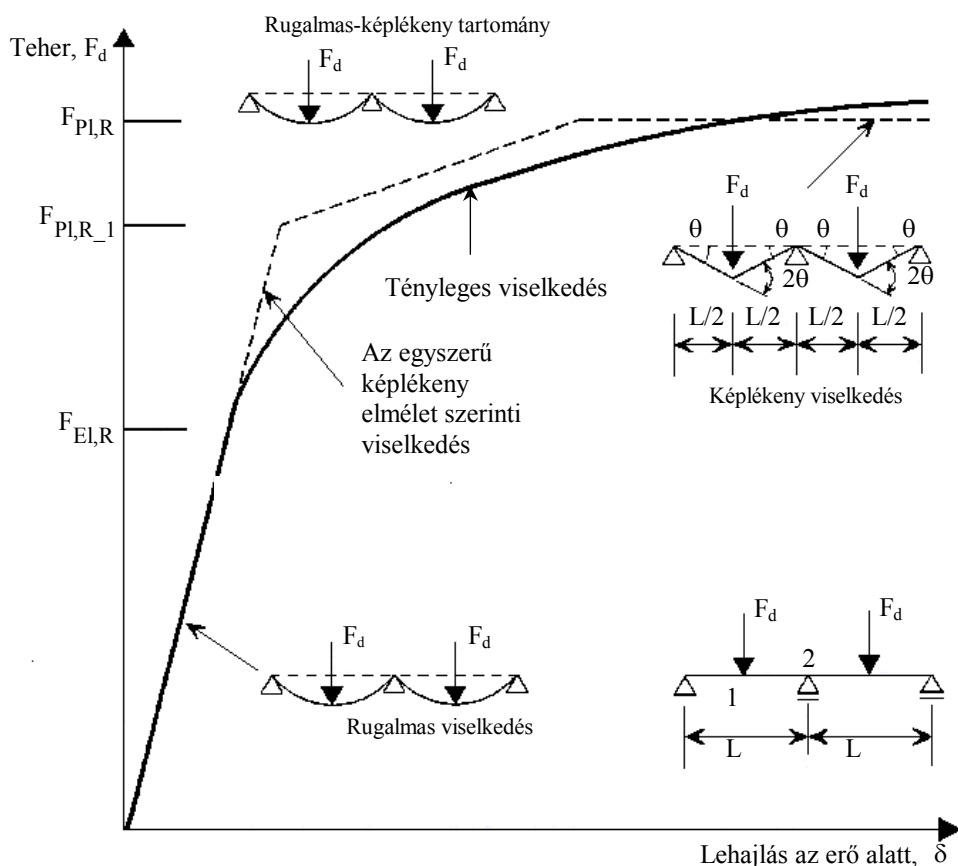
Ekkor a nyílások közepén is kialakulnak a képlékeny csuklók, a tartó ún. *folyási mechanizmussá* alakul (5.15. f ábra), további terhek felvételére képtelenné válik. Ekkor érjük el a *tartó teljes képlékeny teherbírását*, ami magába foglalja a keresztmetszetek képlékeny ellenállásának valamint a tartó képlékeny tartalékainak kihasználását is:

$$F_{pl,R} = F_{pl,R_1} + \Delta F_d \quad (5.2.11)$$

A tartó 5.15. f ábrán látható képlékeny igénybevételi ábráját közvetlenül, *képlékeny globális analízissel* is meg lehet határozni, ennek részleteit mellőzzük.

A tartó tönkremeneteli folyamatát jól jellemzi az erő alatti lehajlások alakulása (5.16. ábra). A kezdeti rugalmas viselkedés során a terheléssel arányosan növekszenek a lehajlások, amíg az első folyás határállapotához nem érkezzük. A keresztmetszet képlékennyé válásának során folyamatosan csökken a merevség. Az első képlékeny csukló kialakulása után, a rugalmas-képlékeny zónában egy kisebb merevséggel, de ismét közel lineárisak a lehajlások. A mezők

közepén kialakuló képlékeny csuklók a teherbírás kimerülését jelentik, a lehajlások a tartó képlékeny viselkedési tartományában elvileg további teher nélkül a törésig nőnek. A „valódi” tartó képlékeny viselkedése a felkeményedés hatása miatt eltérő.



5.16. ábra: A tartó lehajlása az erő alatt [SSEDTA nyomán].

Példánk alapján megállapítható, hogy a tartó *rugalmas méretezése*, amely az igénybevételek rugalmas módon történő meghatározása után, a rugalmas keresztmetszeti ellenállás és rugalmas teherbírás kiszámításával történik, a legalacsonyabb teherbírási határértéket szolgáltatja. A keresztmetszet képlékeny ellenállásának kihasználása – amit általában *képlékeny méretezésnek* hívunk – szokványos I-szelvények esetében általában 14% körüli teherbírási többletet eredményez. Statikailag határozott tartóknál a keresztmetszet képlékeny ellenállásának elérése egyben a tartó képlékeny határteherbírásának elérését is jelenti. Statikailag határozatlan tartók esetén további teherbírasi többlet juthatunk a szerkezet képlékeny többlet-teherbírásának bevonásával, amihez már az igénybevételeket is képlékeny eljárással kell kiszámítanunk. Ennek a *képlékeny analízisnek* az alkalmazását a szabályzatok csak speciális esetekben és további szigorú feltételek betartásával engedik meg.

A szabvány szerinti méretezési folyamat csak annyiban tér el az eddigiektől, hogy az anyagi ellenállás oldalán tekintetbe veendő biztonság miatt a teherbírást mindenütt a folyáshatár biztonsági tényezővel (ami az EC3 esetében γ_{M0}) csökkentett értékével kell számolni.

Tömör tartók rugalmas méretezése

A rugalmas méretezés során teherbírasi szempontból az első folyás határállapotának elérését tekintjük mértékadónak, így mind az igénybevételeket, mind a tartóban ébredő feszültségeket rugalmas alapon számítjuk.

A tömör tartók igénybevétele általában hajlítással egyidejű nyírás, amiből a keresztmetszetben ébredő feszültségek az 5.14. ábrán láthatók.

Megemlítjük, hogy az **MSZ 15024-85** szabvány kötelező jelleggel a rugalmas méretezést írja elő, és csak speciális esetekben enged meg ettől eltérést.

Az **EC3** Part 1-1 6.2.1(4) pontja minden keresztmetszeti osztály esetén *megengedi* a rugalmas méretezés használatát, az alábbi általános formula szerint:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (5.2.12)$$

ahol:

- $\sigma_{x,Ed}$ a vizsgált pontban keletkező hosszirányú normálfeszültség tervezési értéke
- $\sigma_{z,Ed}$ az ugyanott keletkező keresztirányú normálfeszültség tervezési értéke
- τ_{Ed} a vizsgált pontban keletkező nyírófeszültség tervezési értéke.

Az EC3 a 3 és 4 osztályú szelvények *hajlítási ellenállásának számításakor kötelező jelleggel* előírja a rugalmas méretezés használatát (lsd. 3.2.4). A *nyírási ellenállás* vizsgálata során a 3 és 4 osztályú szelvényeknél sem kizárt a képlékeny alapon történő számítás, de konzekvensebb rugalmas alapon számolni. A legtöbb hengerelt szelvénynél egyszerűsítést tehetünk (lsd. 3.2.3.). Az 5.2.12 konzervatív képlet helyett pedig a 3-4 keresztmetszeti osztályok esetén is bizonyos megszorításokkal használhatók a kölcsönhatási formulák (lsd. 3.2.5.).

Tömör tartó rugalmas módszerrel történő ellenőrzése a következő lépésekben hajtható végre:

- I. Igénybevételek meghatározása rugalmas globális analízissel.
- II. Legjobban igénybevett keresztmetszetek kiválasztása.
- III. Keresztmetszetek osztályba sorolása, keresztmetszeti jellemzők kiszámítása. (3.1.2 és 3.1.3 pontok szerint)
- IV. Hajlítás ellenőrzése
 - 3.2.4 pont szerint,

- vagy a km. szélső szálában $\sigma_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,min}}$ és $\frac{\sigma_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \leq 1$ (5.2.13)

- V. Nyírás vizsgálata

- 3.2.3 pont szerint,
- vagy a km. semleges szálában

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t} \quad \text{és} \quad \frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})} \leq 1 \quad (5.2.14a)$$

- illetve I-szelvényeknél, ha $\frac{A_f}{A_w} \geq 0,6$ akkor egyszerűbben

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w} \quad (5.2.14b)$$

ahol A_f egy öv területe és $A_w = h_w \cdot t_w$ a gerinc keresztmetszeti területe

- VI. Nyírás és hajlítás kölcsönhatásának ellenőrzése – azaz a tartónyak vizsgálata.

- 3.2.5 szerint, vagy az 5.2.12 képlettel.

- VII. Stabilitási ellenőrzések a 3.3 pont szerint, általában

- kifordulási ellenőrzés 3.3.3 szerint
- gerinclemez horpadás ellenőrzése 3.3.4 szerint

- merevítőbordák ellenőrzése 3.3.5 szerint
- VIII. Szerkezeti részletek ellenőrzése a 4. fejezetben ismertetettek alkalmazásával
- Hegesztett kapcsolatok ellenőrzése (pl. nyakvarrat) 4.3.1 és 4.3.2 szerint
 - Csavarozott kapcsolatok ellenőrzése 4.2.1 és 4.2.2 szerint
 - Illesztések vizsgálata (csavarozott 4.2.3 ill. hegesztett 4.3.3 szerint)
 - Egyéb szerkezeti részletek (pl. támasz környezete, erőbevezetések stb.)
- IX. Használati határállapot ellenőrzése
- A legnagyobb lehajlás ellenőrzése az EC3 Part 1-1 7.pontja szerint. (Isd. pl. jelen útmutató 5.1.2 R4.5 részében)

A tervezés folyamatát a tankönyv 11. fejezete részletesen bemutatja.

Tömör tartók méretezése a keresztmetszet képlékeny tartalékának kihasználásával

Az EC3 Part 1-1 szerint 1 és 2 osztályú keresztmetszetekből kialakított tömör tartók vizsgálatát ilyen módon kell elvégezni.

Az ellenőrzés a következő lépésekben hajtható végre:

- I. Igénybevételek meghatározása rugalmas globális analízissel.
- II. Legjobb igénybevett keresztmetszetek kiválasztása.
- III. Keresztmetszetek osztályba sorolása, keresztmetszeti jellemzők kiszámítása. (3.1.2 és 3.1.3 pontok szerint)
- IV. Hajlítás ellenőrzése a 3.2.4 pont szerint,
- V. Nyírás vizsgálata a 3.2.3 pont szerint,
- VI. Nyírás és hajlítás kölcsönhatásának ellenőrzése a 3.2.5 pont szerint,
- VII. Stabilitási ellenőrzések a 3.3 pont szerint, általában
 - kifordulási ellenőrzés 3.3.3 szerint
 - gerinclemez horpadás ellenőrzése 3.3.4 szerint
 - merevítőbordák ellenőrzése 3.3.5 szerint
- VIII. Szerkezeti részletek ellenőrzése a 4. fejezetben ismertetettek alkalmazásával
 - Hegesztett kapcsolatok ellenőrzése (pl. nyakvarrat) 4.3.1 és 4.3.2 szerint
 - Csavarozott kapcsolatok ellenőrzése 4.2.1 és 4.2.2 szerint
 - Illesztések vizsgálata (csavarozott 4.2.3 ill. hegesztett 4.3.3 szerint)
 - Egyéb szerkezeti részletek (pl. támasz környezete, erőbevezetések stb.)
- IX. Használati határállapot ellenőrzése

A legnagyobb lehajlás ellenőrzése az EC3 Part 1-1 7.pontja szerint. (Isd. pl. jelen útmutató 5.1.2 R4.5 részében)

A továbbiakban a késztermék tartók közül csak a melegen hengereltekkel, az összetett szelvények közül pedig a hegesztett tartókkal foglalkozunk. Szegecselt szerkezetet a mai mérnöknek valószínűleg nem kell terveznie, ugyanakkor meglévő acélszerkezeteink felülvizsgálatához, esetleges megerősítéséhez szüksége lehet az ilyen típusú tartókkal kapcsolatos ismeretekre is, amit például a tankönyv vonatkozó fejezetéből szerezhet meg.

5.2.2. Melegen hengerelt gerendatartó

A melegen hengerelt termékek (lsd. pl. F 1.1) választékából gerendatartók számára a legalkalmasabbak az IPE szelvények, szükség esetén (nagyobb igénybevételek ill. kis magasság igénye) használhatók a HEA profilok, az ennél vastagabb övű szelvények (HEB, HEM) már kevésbé gazdaságosak. A melegen hengerelt szelvények keresztmetszetét általában úgy alakították ki, hogy hajlításra első vagy második, nagyon ritkán (magasabb szilárdsági csoportú HEA profilok közül néhány) harmadik keresztmetszeti osztályúak legyenek. A gerincük vastagsága is általában elegendő ahhoz, hogy merevítések nélkül is beépíthetők legyenek. Mindezen tulajdonságaik miatt keresztmetszeti méretezésüknél a hajlítási teherbírás vizsgálata szokott a mértékadó lenni.

Tervezési feladat esetén a gerenda szelvényének felvételét egyszerűen a legnagyobb igénybevétel helyén szükséges keresztmetszeti modulus kiszámítása, majd a profiltáblázatban egy legalább ekkora keresztmetszeti modulusú profil kiválasztása útján végezhetjük el. Ezután következhet a kiválasztott szelvény részletes ellenőrzése.

A melegen hengerelt szelvényekből készült gerendatartók lehajlásainak ellenőrzését minden esetben el kell végezni. Többtámaszú szerkezeti kialakítás esetén gyakran előfordul, hogy az alakváltozási határállapot lesz a méretezés szempontjából mértékadó.

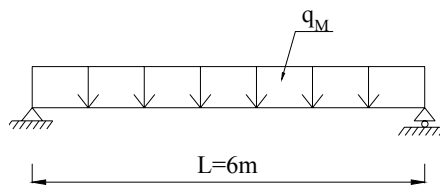
Az alábbi mintapéldáknál feltételezzük, hogy a gerendatartók nyomott öve oldalirányban kellő sűrűen meg van támasztva, tehát stabilitási tönkremenetellel nem kell számolnunk.

5.1. Példa

Vizsgáljuk meg egy földem acél gerendáját! A gerenda kéttámaszú tartó (5.17. ábra), egyenletesen megoszló teherrel terhelve. Támaszköze 6 méter. A tartó anyagának minősége S235, profilja IPE 270 (5.18. ábra).

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 1,0$

Terhek: $g_k = 4,0 \text{ kN/m}$ $\gamma_g = 1,35$ (állandó teher)
 $q_k = 10,0 \text{ kN/m}$ $\gamma_Q = 1,5$ (hasznos teher)



5.17. ábra: Kéttámaszú gerenda.

Mértékadó teherkombináció:

A terhek tervezési értéke

$$q_d = g_k \cdot \gamma_g + q_k \cdot \gamma_Q = 4,0 \cdot 1,35 + 10,0 \cdot 1,5 = 20,4 \text{ kN/m}$$

A terhek alapértéke

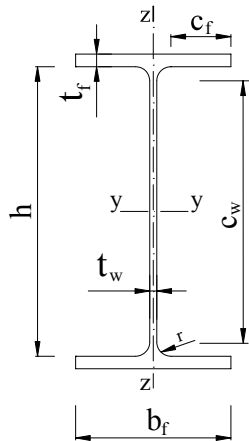
$$q_{d,SLS} = g_k + q_k = 4,0 + 10,0 = 14,0 \text{ kN/m}$$

A nyomaték és nyíróerő tervezési értéke:

$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot L^2}{8} = \frac{20,4 \cdot 6^2}{8} = 91,8 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{q_d \cdot L}{2} = \frac{20,4 \cdot 6}{2} = 61,2 \text{ kNm}$$

Keresztmetszeti adatok: IPE 270 (táblázatból)



$$b_f = 135 \text{ mm} \quad t_f = 10,2 \text{ mm}$$

$$h = 270 \text{ mm} \quad t_w = 6,6 \text{ mm}$$

$$r = 15 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 484 \text{ cm}^3$$

$$A_{v,z} = 22,14 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5789,8 \text{ cm}^4$$

5.18. ábra: A szelvény geometriája.

A keresztmetszet osztályba sorolása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{135}{2} - 15 - \frac{6,6}{2} = 49,2 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{49,2}{10,2} = 4,82 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 270 - 2 \cdot 15 - 2 \cdot 10,2 = 219,6 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{219,6}{6,6} = 33,27 < 72 \cdot \varepsilon = 72$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése hajlításra:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{484 \cdot 23,5}{1,0} = 11374 \text{ kNcm} = 113,74 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{91,8}{113,74} = 0,807 < 1,0$$

→ Megfelel

Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése nyírásra:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} = \frac{22,14 \cdot 23,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 300,38 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{61,2}{300,38} = 0,204 < 1,0$$

Hajlítás és nyírás interakciójának ellenőrzése:

mivel $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,204 < 0,5 \quad \rightarrow$ a nyírás és hajlítás egymástól függetlennek tekinthető.

Stabilitási vizsgálatok:

Kifordulás ellenőrzése elmarad, mert a tartót oldalirányban kellően megtámasztottnak tekintjük.

Használati határállapot ellenőrzése (SLS):

(újabb információk hiányában a lehajlási határértékeket az MSZ ENV 1993-1-1:1995 4.1 táblázatából átvéve)

- lehajlás a hasznos teherből:

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10 \cdot 600^4 \cdot 10^2}{21000 \cdot 5789,8} = 1,38 \text{ cm} < \frac{L}{300} = 2 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel}$$

- lehajlás a teljes terhelésből:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,SLS} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14 \cdot 600^4 \cdot 10^2}{21000 \cdot 5789,8} = 1,93 \text{ cm} < \frac{L}{250} = 2,4 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel}$$

5.2. Példa

Tervezzük meg az előző feladat szerinti gerendát S355 anyagminőségűből! A többi adat változatlan.

Alapanyag: S355 $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 51,0 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 0,81$

Mértékadó igénybevételek: (lsd. az előző példát)

$$M_{Ed} = 91,8 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 61,2 \text{ kNm}$$

Szükséges keresztmetszeti modulus:

Melegen hengerelt szelvényt alkalmazunk, így feltételezhetjük, hogy a szelvény legalább 2. keresztmetszeti osztályú, vagyis a keresztmetszet tervezési nyomatéki ellenállása megegyezik a teljes keresztmetszet tervezési képlékeny ellenállásával.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

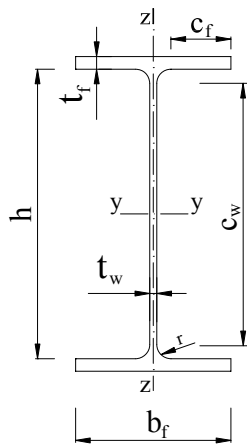
A szükséges keresztmetszeti modulust a $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$ feltételből kapjuk.

$$W_{pl,y,szüks} = \frac{M_{Ed}}{f_y} \cdot \gamma_{M0} = \frac{91,8 \cdot 100}{35,5} \cdot 1,0 = 258,59 \text{ cm}^3$$

Alkalmazott szelvény:

$$\text{IPE 220} \quad \text{mert } W_{pl,y} = 285,41 \text{ cm}^3 > W_{pl,y,szüks} = 258,59 \text{ cm}^3$$

Keresztmetszeti adatok: IPE 220



$$\begin{aligned} b_f &= 110 \text{ mm} & t_f &= 9,2 \text{ mm} \\ h &= 220 \text{ mm} & t_w &= 5,9 \text{ mm} \\ r &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{pl,y} &= 285,41 \text{ cm}^3 \\ A_{v,z} &= 15,88 \text{ cm}^2 \\ I_y &= 2771,8 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

5.19. ábra: A szelvény geometriája.

A keresztmetszet osztályba sorolása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{110}{2} - 12 - \frac{5,9}{2} = 40,05 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{40,05}{9,2} = 4,35 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 220 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 9,2 = 177,6 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{177,6}{5,9} = 30,1 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése hajlításra:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{285,41 \cdot 35,5}{1,0} = 10132 \text{ kNcm} = 101,32 \text{ kNm} \rightarrow \text{Megfelel}$$
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{91,8}{101,32} = 0,906 < 1,0$$

Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése nyírásra:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{15,88 \cdot \frac{35,5}{\sqrt{3}}}{1,0} = 325,47 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{61,2}{325,47} = 0,188 < 1,0$$

Hajlítás és nyírás interakciójának ellenőrzése:

mivel $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,188 < 0,5 \rightarrow$ a nyírás és hajlítás egymástól függetlennek tekinthető.

Stabilitási vizsgálatok:

A kifordulás ellenőrzése elmarad, mert a tartót oldalirányban kellően megtámasztottnak tekintjük.

Használati határállapot ellenőrzése (SLS):

(újabb információk hiányában a lehajlási határértékeket az MSZ ENV 1993-1-1:1995 4.1 táblázatából átvéve)

- lehajlás a hasznos teherből:

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10 \cdot 600^4 \cdot 10^2}{21000 \cdot 2771,8} = 2,9 \text{ cm} > \frac{L}{300} = 2 \text{ cm} \rightarrow \text{Nem felel meg}$$

- lehajlás a teljes terhelésből:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,SLS} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14 \cdot 600^4 \cdot 10^2}{21000 \cdot 2771,8} = 4,06 \text{ cm} > \frac{L}{250} = 2,4 \text{ cm} \rightarrow \text{Nem felel meg}$$

Szelvényfelvétel a lehajlási feltétel alapján:

$$I_{y,szüks} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,SLS} \cdot L^4}{E \cdot \delta} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14 \cdot 600^4 \cdot 10^2}{21000 \cdot 2,4} = 4687,5 \text{ cm}^4$$

most is legalább IPE 270 választandó, mert $I_y = 5789,8 \text{ cm}^4 > I_{y,szüks} = 4687,5 \text{ cm}^4$!

Az S355-ös minőségű IPE 270 ellenőrzése az 5.1. példa szerint elvégezhető.

5.2.3. Hegesztett gerendatartó

Hegesztett kivitelű tömör tartóknál lehetőségünk van a keresztmetszetet mindenütt a tartó erőjátékát és igénybevételeit messzemenően figyelembe véve kialakítani. Az övlemezek elsősorban a hajlítónyomatékot, míg a gerinclemez a nyíróerőket veszi fel, ennek megfelelően vékony, magas gerincet és erőteljesebb öveket használunk.

A tartó magasságának megválasztása alapvető fontosságú mind a teherbírási, mind a használhatósági határállapot szempontjából. A tartó magasságának növelése hatékonyan növeli a teherbírást és csökkenti a lehajlást, ugyanakkor nagyobb helyigényű szerkezetet eredményez. A javasolható tartómagasság függ az anyagminőségtől is, nagyobb szilárdságú acélfajta alkalmazása csökkenti a szelvény méreteit, ami végső soron nagyobb lehajlásokat eredményez. A rácsos tartóknál az 5.1.1 pontban leírt megfontolások a hegesztett gerendatartónál is alkalmazandók. Magasépítési tartóknál, kéttámaszú kialakítás esetén az L támaszköz 1/15-e és 1/20-a közötti gerincmagasság felvétele ajánlható. Keretszerkezeteknél L/25 és L/40 közötti tartómagasság lehet megfelelő. Természetesen fenti értékek csak irányadónak tekinthetők, S235 anyagminőség és viszonylag kisebb teher esetén az alacsonyabb gerincmagasság, nagyobb terhelés és magasabb szilárdságú acélfajta esetén a magasabb szelvény lehet lehajlásra is megfelelő.

Mind a gerincvastagság, mind az övlemez méreteinek felvételét a lemezhorpadás jelentősen befolyásolja. Hegesztett tartóknál a felhasznált anyag mennyiségének minimalizálására – és ezzel alacsony önsúlyra – törekedve vékony lemezeket igyekszünk alkalmazni. A korróziós veszély miatt általában 6 mm-nél, horganyzott szerkezetekben esetleg 4-5 mm-nél vékonyabb lemezeket nem szoktunk használni. A lemezvastagság viszont a lemezhorpadáson keresztül meghatározza a keresztmetszet besorolását. Magasépítési tartókhoz célszerű legalább a 3. keresztmetszeti osztályba sorolható szelvényt kialakítani, hacsak nincsenek extrém igények az önsúlycsökkentésre. (Más mérnöki szerkezetek, pl. hidak, vékonyfalú tartók stb. esetében gyakran használunk 4. osztályú szelvényeket is). Az alábbi táblázat (5.2 táblázat) segítségével gyorsan ellenőrizhetők szelvényünk méretei. A táblázat a besorolási határokat mutatja az öv-és gerinclemezek esetén a három acélminőségre.

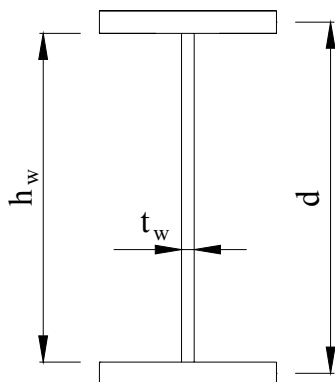
		Határérték	S235	S275	S355
			$\epsilon=1,00$	$\epsilon=0,92$	$\epsilon=0,81$
övlemezek $\frac{c_f}{t_f}$	1. km. osztály	9 ϵ	9	8,28	7,29
	2. km. osztály	10 ϵ	10	9,20	8,10
	3. km. osztály	14 ϵ	14	12,88	11,34
gerinclemez $\frac{c_w}{t_w}$	1. km. osztály	72 ϵ	72	66,24	58,32
	2. km. osztály	83 ϵ	83	76,36	67,23
	3. km. osztály	124 ϵ	124	114,08	100,44

5.2 táblázat: Keresztmetszeti osztályok határai.

A tartómagasság felvétele után a gerinclemez vastagságának megállapítása következhet, a táblázat segítségével. Természetesen csak olyan lemezvastagságokat alkalmazhatunk, amelyeket gyártanak is – ennek ellenőrzésére pl. [1] is alkalmas. Különösen nagy nyíróerők esetén javasolt a gerincméretek gyors ellenőrzése a képlékeny nyírásvizsgálat elvégzésével.

Az övlemez méreteinek felvételét a horpadás mellett teherbírási és szerkezeti szempontok is befolyásolják. Teherbírási feltételből az alábbi egyszerű közelítő számítás alapján kiszámíthatjuk

egy övlemez szükséges területét ($A_{\text{öv}}$). Tekintsünk egy kétszeresen szimmetrikus I-szelvényt, melynek gerincvastagságát (t_w) és gerincmagasságát (h_w) ismerjük (5.20. ábra).



5.20. ábra: I-szelvény.

Az övlemezek vastagságát felvéve megkaphatjuk az övek középvonalának távolságát (d) (vagy további egyszerűsítésként $d = h_w$ is vehető). Ha a méretezési nyomaték (M_{Ed}) ismert, akkor a szelvény szükséges keresztmetszeti modulusa meghatározható:

$$W_{szüks} = \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \quad (5.2.20)$$

A keresztmetszeti modulus a gerincre és az övre jutó részből tehető össze, amiből a gerincre jutó rész ismert.

Gerinc, rugalmas méretezés esetén
$$W_{ger} = \frac{t_w \cdot h_w^2}{6} \quad (5.2.21)$$

Gerinc, képlékeny méretezés esetén
$$W_{ger} = \frac{t_w \cdot h_w^2}{4} \quad (5.2.22)$$

Öv, mindkét esetben
$$W_{öv} = A_{öv} \cdot d \quad (5.2.23)$$

Az öv szükséges „hozzájárulása” és ebből a szükséges övterület számítható:

$$A_{öv} = \frac{W_{szüks} - W_{ger}}{d} \quad (5.2.24)$$

Az övlemez vastagságát a gyártható lemezmeretek közül kell kiválasztani. Hegesztési szempontok miatt nem célszerű a gerincvastagság 3-szorosát meghaladó övvastagságot választani. 40 mm-nél vastagabb lemezek alkalmazása esetén speciális számítási szabályok lépnek életbe (pl. f_y és f_u csökkenhet, más kihajlási görbék stb.). Nagyon vastag (80-100 mm) övlemezeket csak speciális felkészültségű gyártók képesek elkészíteni, különleges minőségű acél szükséges hozzá. Mindezen szempontok nem túl vastag övlemezt kívánnak.

Az övlemezt célszerű a lehetőségek szerint szélesre kialakítani. Egyrészt a tartó kisebbik tengelyre vett inerciája így lesz a legnagyobb, ami az oldalirányú stabilitást (kihajlás, kifordulás) kedvezően befolyásolja. Másrészt a gerinclemezes tartókban a gyárthatóság és szállíthatóság szempontjait érvényesítve 12-14 m hossz felett helyszíni illesztéseket kell kialakítani, amelyet általában csavarozva oldunk meg. Az övlemez csavarjainak elhelyezéséhez szintén szélesebb lemezre van szükség. Ha lehetőségeink engedik, akkor az övben 4 csavarsort tegyünk egy keresztmetszetbe, így rövidebb kapcsolatot készíthetünk.

Láthatjuk, hogy sok, részben egymásnak is ellentmondó szempont szerint kell a hegesztett tartó szelvényét kialakítani. Az is lehetséges, hogy a felvett szelvény a későbbiekben valamilyen vizsgálatra nem felel meg. Ennek elkerülésére célszerű a szelvényfelvétel során néhány gyors vizsgálatot kontrollálni a felvett méreteket. Ezek közé tartozik a tartó lehajlásának azonnali ellenőrzése is, amely különösen magasabb szilárdságú acéloknál lehet mértékadó, és megkövetelheti a szelvény átalakítását.

A hegesztett tartók egyik legfontosabb előnye az igénybevételekhez illeszkedő keresztmetszeti kialakítás lehetősége. A tartó teherbírását az igénybevételek változásához illeszteni változó keresztmetszettel lehet. Magasépítési gerendatartóknál a tartómagasság változtatása nem célszerű, ám hidak esetében gyakoribb megoldás. A magasépítési gerinclemezes tartót szakaszokra osztva, az egyes szakaszokon belüli legnagyobb tervezési nyomatokra kell megfelelő ellenállású szelvényt kialakítanunk az övlemezek vastagságának ill. szélességének módosításával. A szakaszok számát gazdaságossági szempontokból is mérlegelnünk kell, hiszen minden szelvényváltás hegesztést és esetleg újabb vastagságú lemezek beszerzését igényli. A váltások helyét gondosan kell kiválasztani, lehetőleg elkerülve a varrathalmazódásokat és szerkezeti problémákat. Ugyanakkor esztétikailag is kellemes benyomást keltő tartót kell kialakítanunk. Minden arra mutat, hogy csak a feltétlenül szükséges számú szelvényváltást használjunk.

Hegesztett tartóknál a viszonylag vékony gerinclemez nemcsak normálfeszültségek, hanem nyírófeszültségek és keresztirányú terhelések hatására is horpadhat. A gerinchorpadás ellenőrzését az útmutató 3.3.5 pontja szerint lehet elvégezni. A gerinclemezekre szükség szerint hossz- és keresztirányú merevítőbordákat hegeszthetünk. Természetesen az a legegyszerűbb eset, ha nincs szükség semelyikre sem – azonban ez viszonylag vastag gerinclemezt igényel, amint az alábbi táblázatból kiderül (5.3 táblázat). A gerinchorpadás vizsgálatát abban az esetben nem szükséges elvégezni, ha a gerinclemez teljes magasságának és vastagságának hányadosa (h_w / t_w) nem haladja meg a táblázatban szereplő értékeket. Az első sorban gerincmerevítés nélküli, a második sorban a gerincmagasság háromszorosának megfelelő távolságban csak keresztirányú merevítőbordákkal merevített eset, a harmadik sorban a gerincmagassággal egyező távolságban elhelyezett keresztirányú merevítőbordákkal ellátott gerinc szerepel.

Gerinclemez h_w / t_w aránya	S235	S275	S355
Merevítés nélküli gerinclemez	60	55,2	48,6
Merevített, a merevítések távolsága $3 \cdot h_w$	62,10	57,13	50,3
Merevített, a merevítések távolsága h_w	78,95	72,63	63,95

5.3 táblázat: h_w / t_w határok gerinclemez horpadásvizsgálathoz.

Az 5.2. táblázattal egybevetve megállapítható, hogy a nyírási horpadás vizsgálata még 1. osztályú gerinclemezeknél sem mindig kerülhető el, 3. osztályú gerinclemeznél a gyakorlati esetekben mindig el kell végezni.

A gerinclemezeire csak a legszükségesebb esetben hegesztünk bordákat. A keresztirányban ható terhek, erőbevezetések helye kritikus keresztmetszetnek számít. Itt vagy külön vizsgálatokkal ellenőrizzük a tartó teherbírását (közvetlen teher hatása, gerinc beroppanási ellenőrzése stb.) - ez 1. és 2. keresztmetszeti osztály esetén elegendő lehet – vagy pedig keresztbordákat helyezünk el. Természetesen a keresztező fióktartók mellett a támaszok is erőbevezetésnek számítanak. A merevítőbordákat csak akkor sűrítjük, ha azt a horpadásvizsgálat megköveteli. 3. és 4. km. osztálynál gyakran van szükség hosszirányú bordákra, a számítás egyszerűsége érdekében azonban ameddig lehetséges, célszerű elkerülni őket. Merevítőbordák alkalmazása esetén azok teherbírását és merevségét is vizsgálni kell (Izd. útmutató 3. fejezete).

5.3. Példa

Határozzuk meg az alábbi hegesztett szelvény $M_{c,Rd}$ hajlítási tervezési ellenállását, ha anyaga a) S235, b) S275 és c) S355 minőségű!

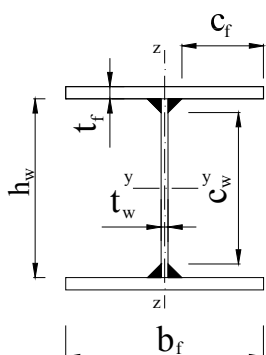
Alapanyag: S235	$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$	$\varepsilon = 1,0$
S275	$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$	$\varepsilon = 0,92$
S355	$f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 51,0 \text{ kN/cm}^2$	$\varepsilon = 0,81$

A szelvény geometriája:

öv: 260-14

gerinc: 230-10

nyakvarrat: $a = 5 \text{ mm}$ kétoldali sarokvarrat



$$\begin{aligned}b_f &= 260 \text{ mm} & t_f &= 14 \text{ mm} \\h_w &= 230 \text{ mm} & t_w &= 10 \text{ mm} \\a &= 5 \text{ mm}\end{aligned}$$

5.21. ábra: A szelvény geometriája.

A keresztmetszet osztályozása:

Gerinc:

A gerincről könnyen látható, hogy mindhárom minőség esetén 1. osztályú.

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 230 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 5 = 215,9 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{215,9}{10} = 21,59 < 72 \cdot \varepsilon = 58,32$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{260}{2} - \sqrt{2} \cdot 5 - \frac{10,0}{2} = 117,9 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{117,9}{14} = 8,42$$

Az 1., 2. és 3. osztályú öv c_f/t_f határértékeit a három acélminőség esetén az 5.4 táblázat mutatja.

	Határérték	S235	S275	S355
1. km. osztály	9ε	9	8,28	7,29
2. km. osztály	10ε	10	9,20	8,10
3. km. osztály	14ε	14	12,88	11,34

5.4. táblázat: Keresztmetszeti osztályok határai.

Az osztályba sorolást a keretezett értékek határozzák meg, mivel azok nagyobbak az aktuális $c_f/t_f = 8,42$ értéknél. Az öv és így az egész keresztmetszet is az S235, S275 és S355 anyagminőség esetén tehát 1., 2. ill. 3. keresztmetszeti osztályú.

Keresztmetszeti jellemzők számítása:

$$I_y = \frac{h_w^3 \cdot t_w}{12} + 2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2$$

$$I_y = \frac{230^3 \cdot 10}{12} + 2 \cdot 260 \cdot 14 \cdot \left(\frac{230}{2} + \frac{14}{2} \right)^2 = 118494686,7 \text{ mm}^4 = 11849,47 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{\frac{h_w}{2} + t_f} = \frac{11849,47}{\frac{23,0}{2} + 1,4} = 918,56 \text{ cm}^3$$

$$S_{y,max} = b_f \cdot t_f \left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right) + \frac{h_w}{2} \cdot t_w \cdot \frac{h_w}{4}$$

$$S_{y,max} = 260 \cdot 14 \cdot \left(\frac{230}{2} + \frac{14}{2} \right) + \frac{230}{2} \cdot 10 \cdot \frac{230}{4} = 510205 \text{ mm}^3 = 510,21 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 2 \cdot S_{y,max} = 2 \cdot 510,21 = 1020,41 \text{ cm}^3$$

Hajlítási tervezési ellenállás:

S235 és S275 acélminőség esetén (az [1]-ben 37-es és 45-ös minőség) a hajlítási tervezési ellenállást a képlékeny keresztmetszeti modulussal számítjuk, mert ez esetekben a szelvény 1. ill. 2. keresztmetszeti osztályú.

S235:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1020,41 \cdot 23,5}{1,0} = 23979,6 \text{ kNcm} = 239,80 \text{ kNm}$$

S275:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1020,41 \cdot 27,5}{1,0} = 28061,3 \text{ kNcm} = 280,61 \text{ kNm}$$

S355 acélminőség esetén ('52'-es) a hajlítási tervezési ellenállást a rugalmas keresztmetszeti modulussal számítjuk, mert ez esetben a szelvény 3. keresztmetszeti osztályú.

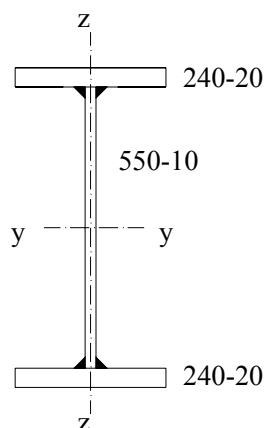
S355:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{918,56 \cdot 35,5}{1,0} = 32641,7 \text{ kNcm} = 326,42 \text{ kNm}$$

5.4. Példa

Egy 6m támaszközü, kéttámaszú, hegesztett szelvényű S235 acélminőségű gerendára az 5.23. ábra szerinti elrendezésben $F_{Ed} = 540 \text{ kN}$ nagyságú koncentrált erők működnek. A gerenda önsúlya: $1,22 \text{ kN/m}$, a biztonsági tényező $\gamma_g = 1,35$. Ellenőrizzük a gerendát, ha a kifordulás meg van gátolva!

A tartó szelvénye:



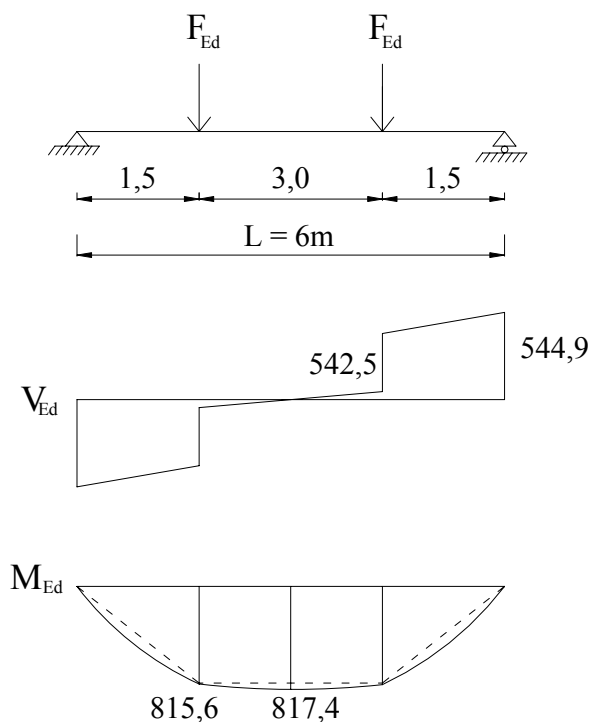
5.22. ábra: A szelvény geometriája.

Könnnyen kimutatható, hogy a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú (előző példa alapján).

Keresztmetszeti modulus számítása:

$$W_{pl,y} = \left(24 \cdot 2 \cdot 28,5 + \frac{27,5^2 \cdot 1}{2} \right) \cdot 2 = 3492,2 \text{ cm}^3$$

Igénybevételek:



5.23. ábra: Igénybevételi ábrák.

Ellenőrzés hajlításra:

A mértékadó nyomaték (5.23. ábra)

$$M_{max,Ed} = 817,4 \text{ kNm}$$

Az 1. keresztmetszeti osztályba tartozó keresztmetszet megfelel, mert:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3492,2 \cdot 23,5}{1,0} = 82067 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd} = 820,67 \text{ kNm} > M_{max,Ed} = 817,4 \text{ kNm}$$

Nyírásvizsgálat:

A keresztmetszet nyírási tervezési ellenállása

$$A_v = \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1 \cdot 550 \cdot 10 = 55 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{55 \cdot 1,0 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 746,2 \text{ kN}$$

A gerinc nyírásra megfelel, mert

$$V_{pl,Rd} = 746,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 544,9 \text{ kN}$$

A hajlítási tervezési ellenállás redukciója:

A terhelés sajátosságából adódik, hogy a koncentrált erőktől kifelé kis távolságra lévő keresztmetszetben egyidejűleg majdnem maximális nagyságú nyomaték és nyíróerő működik. Vizsgáljuk meg, hogy vajon nem kell-e redukálni a nyíróerő miatt a hajlítási tervezési ellenállást!

A redukcióra akkor van szükség, ha $V_{Ed} \geq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$. Esetünkben:

$$V_{Ed} = 542,5 \text{ kN} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 746,2 = 373,1 \text{ kN}$$

Tehát a hajlítási tervezési ellenállást redukálni kell. Kétszeresen szimmetrikus I és zárt szelvényekre a redukált nyomatéki teherbírás:

$$M_{v,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq M_{c,Rd}$$

ahol

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 542,5}{746,2} - 1 \right)^2 = 0,206$$

$$M_{v,Rd} = \left(3492,2 - \frac{0,206 \cdot 55^2}{4 \cdot 1,0} \right) \cdot \frac{23,5}{1,0} = 78405 \text{ kNcm} = 784,05 \text{ kNm}$$

A hajlítási tervezési ellenállás 94,8%-ára csökkent, és mivel $M_{Ed} > M_{v,Rd}$, a tartó nem felel meg!

A tartó erősítéséhez próbálkozni lehet a gerinc vastagításával (hajlított tartónál a nyomatéki ellenállás növelésének nem a leghatékonyabb módja), vagy a gerinc magasításával stb.

5.2.4. Ipari acélszerkezet gerendatartóinak méretezése – házi feladat

A házi feladat keretében egy ipari létesítmény pódiumának acélból készült fő- és fióktartóit kell megtervezni, méretezni és gyártási tervek készíteni.

Az ipari létesítményeknél szokásos módon a pódiumot járórácscal fedjük le. A rácsokat kb. 2-3 méterenként elhelyezett fióktartók támasztják alá. A fióktartók melegen hengerelt szelvényből készülnek, kéttámaszú kialakításban. A fiók- és főtartók felső öve egy síkban van. A járórácsok a fióktartókat kifordulással szemben nem támasztják meg, ezért gondoskodni kell a szükséges oldalirányú megtámasztásokról (merevítés). Ezt például a járórácsok alá helyezett, a fióktartók felső övének alsó síkjára csatlakozó szögacélokból lehet kialakítani. A főtartó hegesztett kivitelű, nagyobb fesztávolságú tartó, amely az épület oszlopaire támaszkodik. Oldalirányban csak a fióktartók támasztják meg. Az oszlopok tervezése nem része a feladatnak, de a vázlatterven szerepelnek, és a kapcsolatok méretezése során tekintettel kell lenni rájuk.

A házi feladat elkészítése során alkalmazni kell az előző félév során megszerzett ismereteket is, így az útmutató rácsos tartóra vonatkozó részében az erőtani számításról, annak kiviteléről, vázlattervről stb. leírtakat sem ismételjük meg újra.

A tervezési feladat elvégzéséhez az alábbi tartalomjegyzéket javasoljuk, és a továbbiakat eszerint tagoljuk.

Tartalomjegyzék

ipari acélszerkezet gerendatartóinak tervezéséhez

G1. Kiindulási adatok

G1.1. Vázlaterv

G1.2. Alkalmazott szabványok

G1.3. Anyagminőségek, a mechanikai jellemzők karakterisztikus értékei

G1.4. Terhek, teherkombinációk

G2. Fióktartók méretezése - kéttámaszú kivitelben

G2.1. Statikai váz

G2.2. Terhek

G2.3. Igénybevételek számítása

G2.4. Szilárdsági vizsgálatok

G2.5. Stabilitási vizsgálatok - kifordulás

G2.6. Alakváltozási vizsgálatok – lehajlás ellenőrzése

G3. Fióktartók méretezése – töbttámaszú változat (alpontok ugyanazok, mint a 2.pont alatt)

G4. Gerinclemezes főtartó méretezése

G4.1. Statikai váz

G4.2. Terhek

G4.3. Igénybevételek számítása

G4.4. Szilárdsági vizsgálatok – hajlítás, nyírás, kölcsönhatás

G4.5. Stabilitási vizsgálatok – kifordulás, gerinchorpadás

G4.6. Merevítőbordák méretezése

G4.7. Alakváltozási vizsgálatok – lehajlás ellenőrzése

G5. Kapcsolatok tervezése

G5.1. Fióktartó és főtartó csuklós kapcsolata

G5.2. Főtartó és fióktartó kapcsolat, folytonos kialakítás

G5.3. Főtartó és oszlop csuklós kapcsolata

G5.4. Főtartó gerenda hevederlemezes illesztése

G5.5. Főtartó nyakvarratának vizsgálata

G6. Anyagkiválasztás

G7. Részletrajzok

A házi feladatban fenti – vagy ehhez hasonló – tartalomjegyzék felfektetését, és a benne szereplő számozás következetes betartását kérjük. (Természetesen a G betű nélkül...)

G1.1. Vázlaterv

A vázlatervet a „megrendelő” által a feladatlapon megadott adatok alapján kell összeállítani. A járórács vastagságát 60-80 mm-re lehet feltételezni. A fióktartók elosztása a főtartó teljes hossza mentén egyenletesen történjék, egymástól való távolságuk S235 anyagminőségnél 2-3 méter között legyen, S355-ös acélnál 4 méter is elképzelhető. Fióktartóknak melegen hengerelt szelvényeket javasolunk, támaszköztől, anyagminőségtől és egymástól való távolságtól függően vázlatervi szinten (két- és többtámaszú változattól függetlenül) egyféle, IPE 200-360 közötti profilt célszerű választani.

A hegesztett főtartó keresztmetszetét vázlatervi szinten az útmutató 5.2.3 pontjában szereplő megfontolások alapján javasoljuk felvenni, olyan méretekkel, hogy hajlításra 3. osztályba legyen besorolható. Oszlopként pl. HEB 300-HEB 360 közötti profil vagy ezzel egyenértékű hegesztett szelvény vehető fel.

Az A3 méretű vázlaterven a feladatlapon szereplő mintatervet követve 1:100 léptékben meg kell rajzolni a főtartó oldalnézetét a fióktartókkal és az oszlopokkal, bejelölve a helyszíni illesztés tervezett helyét. Fel kell tüntetni 1:50 léptékben a fő- és fióktartó keresztmetszetét, megadva a szelvények méreteit. Ábrázolni kell a födém két mezőjének vonalas felülnézetét az oszlopokkal, fő- és fióktartókkal. A vázlaterven meg kell adni a szerkezeti anyag minőségét, valamint a födémkategóriát.

G1.2. Alkalmazott szabványok

A szerkezeti Eurocode-ok közül a feladatunkhoz szükséges (a terhekre és a méretezésre vonatkozó) részek pontos megnevezését (évszámmal együtt) kell itt felsorolni. A jelenlegi állás szerint:

MSZ EN 1990: 2005	Eurocode: A tartószerkezetek tervezésének alapjai
MSZ EN 1991-1-1:2005	Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások. 1-1. rész: Általános hatások. Sűrűség, önsúly és az épületek hasznos terhei.
prEN 1993-1-1:2004	Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és épületek tervezésére vonatkozó szabályok.
prEN1993-1-5:2004	Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-5. rész: Lemezekből összeépített szerkezetek szabályai.
prEN1993-1-8:2003	Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-8. rész: Csomópontok tervezése.

G.1.3. Anyagminőségek, a mechanikai jellemzők karakterisztikus értékei

A szerkezet tervezése során alkalmazott szerkezeti acél és kötőelemek (csavarok, hegesztési varratok) minőségét, valamint a számításához felhasznált anyagjellemzők értékeit kell itt felsorolni. A szerkezeti anyag pontos minőségi jelölését csak a szerkezet megtervezése és az anyag kiválasztás (G.5) elvégzése után tudjuk meg, de nem szabad elfelejteni ide bevezetni.

G1.4. Terhek, teherkombinációk

A fődém tartókra ható terheket az EC1-1-1 vonatkozó részei alapján vesszük fel, tekintetbe véve a NAD speciális előírásait is. A terhekre vonatkozóan a rácsos tartós feladatnál ismertetetteket itt is használni kell (R 1.4 pont), itt csak az eltérésekkel foglalkozunk. Az egyes teherfajták biztonsági tényezőit is az R 1.4-ből lehet átvenni.

Az állandó terheket a rácsos tartó tervezéséhez hasonlóan súlyelemzéssel határozzuk meg. A járórács önsúlyát a feladatkiírásán megadtuk. A fődém hasznos terhét a vázlat tervén felvett méretek alapján számíthatjuk ki. Ha a tervezés során az egyes szerkezeti elemek méretezésénél eltérünk a vázlat tervi méretektől, akkor visszamenőleg általában nem változtatjuk már meg az önsúlyt. Azonban a következő elem vizsgálatánál már pontosíthatunk, és a ténylegesen alkalmazott elem figyelembevételével számítjuk ki az önsúly értékét.

Az esetleges terhek közül a fődémre meteorológiai teher nem működik. Az egyetlen esetleges teher a hasznos fődémteher. Az EC1-1-1 a fődémeket A-G kategóriákba sorolja. A fődém kategóriáját a vázlat tervén megjelöltük, ez most mindenkinél „C”. A koncentrált terhekről feltételezzük, hogy a járórács már kellően elosztva továbbítja őket az alatta levő acél tartókra, tehát nem mértékadóak. A továbbiakban tehát csak a megoszló fődémterhekkkel foglalkozunk. A hasznos fődémteher specialitása, hogy nagy fődémterületen nem működik teljes intenzitásával. Ezt az α_A csökkentő tényezővel vesszük figyelembe, amivel a q_k teherintenzitást be kell szorozni.

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \psi_0 + \frac{10m^2}{A} \leq 1,0 \quad \text{de C és D fődémosztályok esetén } \alpha_A \geq 0,6 \quad (5.2.20)$$

ahol A a vizsgált tartót terhelő teljes fődémterület m^2 -ben
 ψ_0 a kombinációs tényező, amelynek értéke C osztálynál 0,7

A hasznos teher intenzitásának értéke tehát a vizsgált szerkezeti elemtől függően változó, a feladatban külön kell meghatározni a fióktartókra és a főtartóra.

A teherkombinációkat is az egyes szerkezeti elemek vizsgálata során lehet csak képezni, itt csak az általános formulákat kell felsorolni (az R 1.4-ből (5.3) és (5.4)).

G2. Fióktartók méretezése– kéttámaszú változat

Ekkor azt feltételezzük, hogy a fióktartókat egyszerűen a főtartók közötti kéttámaszú darabokból építik be. Az előtervezést a következő lépésekben célszerű végrehajtani (az előtervezést az erőtani számításban nem kell, de nem is szabad közölni):

- Szelvényfelvétel az útmutató 5.2.2 pontja és az 5.2 példa szerint; kellő nyomatéki ellenállású melegen hengerelt IPE szelvény kiválasztásával; célszerű 2-3 alkalmas profil is kiemelni;
- Lehajlási ellenőrzés alapján a profilválaszték szűkíthető;
- Kifordulási ellenőrzés övmerevségvizsgálattal, 1 közbülső megtámasztás feltételezésével; szükség esetén 2 megtámasztás alkalmazása vagy nagyobb profil választása.

Az előtervezéssel alkalmasnak talált profilra elvégezzük a részletes ellenőrzéseket a következők szerint.

G2.1 Statikai váz

A fióktartó szelvényeként alkalmazott IPE profil méretét, valamint a fióktartó statikai vázát kell ábrázolni.

G2.2. Terhek

A födémre ható terhet a járórács továbbítja a fióktartókra. Egyenletes teherelosztást feltételezünk. A felület mentén megoszló terheket a fióktartók terhelési sávjával – a fióktartók távolságával – szorozva alakítjuk át vonalmenti terhekké. A fióktartóra ható önsúlyterhet a felette levő járórács, valamint a saját profil önsúlya jelenti. A hasznos födémteherben valószínűleg nem lesz szükség csökkentő tényezőre. A teherkombinációt a teherbírásvizsgálatokhoz az (5.1.3) formula szerint, míg az alakváltozások ellenőrzéséhez az (5.1.4) képlet szerint kell képezni.

G2.3. Igénybevételek számítása

Az igénybevételeket – nyomatékok és nyíróerők – kell itt kiszámítani, és alakhelyes ábrát rajzolni. A méretezéshez a legnagyobb nyomaték és nyíróerő szükséges.

G2.4. Szilárdsági vizsgálatok

A keresztmetszet vizsgálatait kell elvégezni, a képlékeny méretezés szabályai szerint (ld. 5.2.1.3). A szelvény besorolása után a hajlítási ellenőrzés alapján döntünk a szelvény megtartása vagy megváltoztatása mellett. Hajlítási szempontból jól kihasznált szelvényt választhatunk, ha S235 anyagminőséggel dolgozunk. A szelvényméretnek a lehajlás szabhat korlátot, ha jobb (S355) minőségű acélból képezzük ki a szerkezetünket. Mindkét esetben azonban a kifordulás is korlátozza a teherbírást! Előreláthatólag csak több próbálkozással tudunk gazdaságos és megfelelő szelvényhez jutni. A nyírási vizsgálatot már csak a végleges szelvényre kell elvégezni.

G2.5. Stabilitási vizsgálatok – kifordulás ellenőrzése

A kifordulási ellenőrzést az útmutató 3.3.3 pontja szerint kell elvégezni. Sarkalatos kérdés a hatékony oldalirányú megtámasztások elhelyezése. A járórács ilyen szempontból nem vehető tekintetbe, ezért merevítések beépítéséről kell gondoskodnunk. Egy vagy kettő közbülső megtámasztást alakítsunk ki – a vázlatteven jelölt módon. A gerenda kifordulását ekkor csak a legjobban igénybevett gerendaszakaszra kell ellenőrizni, szükség esetén szelvényt változtatni.

G2.6. Lehajlási ellenőrzés

A lehajlás ellenőrzése a R4.5 szerint végezhető el. Ki kell számítani az egyenletesen megoszló teherrel terhelt kéttámaszú hajlított tartó közepének lehajlását a mechanika tárgyban tanult képlettel a mértékadó teherkombinációból, valamint külön a födémteherből. A lehajlási határokat az érvényben lévő MSZ ENV 1993-1-1 alapján födémekre a következőkben adjuk meg (értelmezésért lsd. R4.5): $\delta_{max} = L / 250$ és $\delta_2 = L / 300$. Várhatóan a teljes teherből számított lehajlás lesz mértékadó.

G3. Fióktartó méretezése – folytatólagos többtámaszú változat

Ebben az esetben a fióktartókat folytatólagos többtámaszú tartóként méretezzük, a főtartóval való kapcsolatukat pedig úgy alakítjuk ki, hogy biztosítsa a folytonosságot.

Az előtervezésnél a következő közelítéssel élhetünk:

- Azonos támaszközű, állandó megoszló teherrel terhelt folytatólagos tartó legnagyobb nyomatéka közelítőleg: $M_{max} = M_B = -0,105ql^2$, ennek alapján profilválasztás; kellő nyomatéki ellenállású melegen hengerelt IPE szelvény kiválasztásával; célszerű 2-3 alkalmas profilt is kiemelni;
 - Lehajlási ellenőrzés alapján a profilválaszték szűkíthető; fenti tartó lehajlása szintén közelítőleg $f_{max} = \frac{l^2}{48EI} \left(5 \frac{ql^2}{8} + 3M_B \right)$
 - Kifordulási ellenőrzés övmerevségvizsgálattal, 1 közbülső megtámasztás feltételezésével; szükség esetén 2 megtámasztás alkalmazása vagy nagyobb profil választása.
- Az előtervezéssel alkalmasnak talált profilra elvégezzük a részletes ellenőrzéseket a következők szerint.

G3.1 – G3.2 lásd a kéttámaszú tartónál írottakat.

G3.3. Igénybevételek számítása

Az igénybevételeket – nyomatékok és nyíróerők – kell itt kiszámítani, folytatólagos tartón, célszerűen valamilyen igénybevétel számító programmal, esetleg a mechanikából tanult más módon – vagy kézikönyvből vett képlettel, és alakhelyes ábrát rajzolni. A méretezéshez a legnagyobb nyomaték és nyíróerő szükséges.

G3.4. Szilárdsági vizsgálatok

A keresztmetszet vizsgálatait kell elvégezni, a kéttámaszú változatnál már látott módon. Várhatóan itt nem ez a vizsgálat lesz a mértékadó, ezért szilárdságilag kihasználatlan szelvényünk lesz.

G3.5. Stabilitási vizsgálatok – kifordulás ellenőrzése

Mint a kéttámaszú tartónál. Lehetséges, hogy ez a vizsgálat határozza meg majd a szelvény méreteit!

G3.6. Lehajlási ellenőrzés

A lehajlás ellenőrzéséhez az igénybevétel számító programba a tényleges szelvény adatait kell bevinni, vagy a lehajlás meghatározható más módon is (lásd mechanika ill, kézikönyvek). Várhatóan mértékadó lehet a használhatósági határállapot!

G4. Gerinclemezes főtartó méretezése

A gerinclemezes főtartó szelvényének kialakítását 3. keresztmetszeti osztályúra javasoljuk. Ennek megfelelően rugalmas méretezést kell végrehajtani jelen útmutató 5.2.1.2 pontja szerint.

G4.1 Statikai váz

A főtartó kéttámaszú statikai vázú, a terheket a fióktartók a feltámaszkodási pontjaikban koncentrált erőként adják át a főtartóra. Az ábrán a helyszíni illesztések helyét is fel kell tüntetni.

G4.2 Terhek

A főtartó saját önsúlyát a vázlatlattervi méretek alapján, míg a járórács és a fióktartók önsúlyát a már véglegesített méretek alapján kell figyelembe venni. A hasznos fődémterhet a főtartó

terhelési felülete (főtartó fesztáv és fióktartó fesztáv szorzata) figyelembevételével kiszámított α_A csökkentő tényezővel szorozva kell számításba venni, a csökkentő tényező értéke várhatóan kisebb lesz 1-nél. A mértékadó teherkombinációkat a főtartó statikai vázán lehet előállítani, külön a teherbírasi és külön a lehajlási határállapothoz.

G4.3. Igénybevételek számítása

A főtartó igénybevételeit – nyomatéki és nyíróerő ábra – kell kiszámítani, a fióktartók csatlakozási pontjaiban, tetszőleges módszerrel. A lehajlások számításához a megfelelő teherkombinációból csak a legnagyobb nyomatékra van szükség.

G4.4 Szilárdsági vizsgálatok

A vázlattelev készítése során a gerinclemezes főtartó méreteit felvettük, de csak most van lehetőségünk a főtartó szelvényének közelítő ellenőrzésére. A további részletes vizsgálatok elvégzése előtt célszerű az útmutató 5.2.3 pontjában bemutatott gyors módszerrel, az (5.2.20)-(5.2.24) képletek felhasználásával az öv méreteinek pontosítását elvégezni. Ezután a lehajlást is ellenőrizzük az R4.5-ben szereplő (5.1.6) formulával. Szükség szerint módosítsuk a tartó övlemezeinek méreteit, ha a lehajlás a mértékadó, akkor esetleg a tartó magasságát is kismértékben megváltoztathatjuk, ameddig gazdaságos, jól kihasznált keresztmetszethez jutunk. Biztosítsuk, hogy a keresztmetszet továbbra is a 3. osztályba legyen hajlítási szempontból besorolható. Ezzel a szelvénnel vágjunk neki a további vizsgálatoknak.

G.4.4.1. Hajlítási vizsgálatok

A véglegesnek tekintett szelvény osztályba sorolása után ellenőrizni kell a hajlítási teherbírást a legnagyobb méretezési nyomaték helyén. A terhelő hajlítónyomaték a tartó hossza mentén jelentős mértékben változik, ezért lehetőség van a támaszokhoz közeledve a szelvény méreteinek csökkentésére. Javasoljuk, hogy legalább egy – hosszabb főtartókon esetleg kettő - szelvényváltást alkalmazzunk a tartón, célszerűen az övlemez méreteinek csökkentésével. A szelvényváltás helyei a csökkentett szelvény hajlítási ellenállásának ismeretében, a terhelő nyomatékok ábrájával való összevetéssel állapíthatóak meg. Ezután természetesen a csökkentett szelvény(ek)re is el kell végezni a hajlítási ellenőrzést. A vizsgálatokat például az útmutató 3.2.4 pontjában bemutatott módon végezhetjük el.

G.4.4.2. Nyírási vizsgálatok

A nyírásra legjobban igénybevett keresztmetszet a támasznál található. A vizsgálatot az 5.2.1.2 pont alapján, például az (5.2.14a) vagy (5.2.14b) képletekkel végezhetjük el.

G.4.4.3. Kölcsönhatási vizsgálatok

Rugalmas méretezésnél a nyírás és hajlás kölcsönhatását csak ott szükséges ellenőrizni, ahol magas hajlítási kihasználtság mellett számottevő nyíróerő is fellép. A szelvényváltás keresztmetszetei ebből a szempontból veszélyesek lehetnek. A vizsgálatot az 5.2.1.2 pont alapján, például az (5.2.12) általános formula felhasználásával végezhetjük el.

G4.5 Stabilitási vizsgálatok

G.4.5.1. Kifordulás vizsgálata

A kifordulási ellenőrzést az útmutató 3.3.3 pontja szerint kell elvégezni. A főtartó nyomott felső övét oldalirányban megtámasztják a fióktartók, kifordulás csak a megtámasztások között jöhet létre. A vizsgálatot a legjobban igénybevett tartószakaszon – a tartó közepén – kell elvégezni, elegendő a közelítő ellenőrzés övmerevségvizsgálattal (ld. a 3.11. példa c., részét).

G.4.5.2. Gerinclemez horpadási ellenőrzése

A gerinclemez a fióktartók csatlakozásainál függőleges keresztirányú bordákkal merevítjük, a horpadásra legérzékenyebb gerinclemez-mező a támasz és az első fióktartó közötti, csökkentett övlemezekkel ellátott tartórész. A nyírási horpadás ellenőrzését az útmutató 3.3.5 pontjában bemutatott módszer és a 3.12 példa alkalmazásával kell elvégezni.

G4.6 Merevítőbordák méretezése

A vizsgálathoz a bordák méreteit előzetesen fel kell venni. Nem kell az övlemezek széléig érő bordákat választani, a gazdaságosságra törekedve csak a szükséges mennyiségű anyagot érdemes beépíteni. Elegendő lehet 50-60 mm széles laposacél borda elhelyezése a gerinc mindkét oldalán, a bordák vastagsága legyen nagyobb a gerinclemez vastagságánál.

G4.7 Alakváltozási vizsgálatok

A változó keresztmetszetű főtartó lehajlását célszerűen az R.4.5-ben mutatott (5.1.6) képlettel lehet kiszámítani. A vizsgálat módját már a G.2.5-ben bemutattuk.

G5. Kapcsolatok tervezése

A feladatban a főtartó összes kapcsolati csomópontját kell megtervezni.

G5.1 Fióktartó és főtartó csuklós kapcsolata

A melegen hengerelt profilból készült fióktartókat csuklósan viselkedő kapcsolattal kötjük a hegesztett szelvényű főtartóhoz. A tartók felső övének színelniük kell ahhoz, hogy rájuk fektethessük a járórácsokat. Alkalmos csomóponti megoldást láthatunk a 4.9. példában. A kapcsolatnak a fióktartó reakcióerejét kell továbbítania nyíróerő formájában.

G5.2 Főtartó és fióktartó folytonos kapcsolata

A fióktartó folytatólagos kialakításához megfelelő kapcsolatot kell biztosítanunk a főtartó és a kétoldali fióktartók között. Erre megoldás lehet a fióktartókat mindkét oldalról nyomtatékbíró és merev homloklemezes kapcsolattal a főtartóhoz kötni. A homloklemezes kapcsolatot a 4.10 példa szerinti megoldással méretezhetjük. A kapcsolatra ható nyíróerő a fióktartó reakcióereje, a nyomatéki terhelés mindkét oldalról egyenlő a fióktartó támasznyomatékával. Ellenőrizzük, hogy a megtervezett kapcsolat az EC3 szerint folytonos-e, azaz szilárdsági szempontból teljes szilárdságú, merevségi szempontból merevnek tekinthető-e? Elfogadható a kapcsolat akkor is, ha szilárdsági szempontból legalább részleges szilárdságú, de merev.

G5.3 Főtartó és oszlop csuklós kapcsolata

A főtartót méretezése során csuklós megtámasztást feltételeztünk, így pl. az előző pontban szereplő kapcsolattípust adaptálhatjuk az oszlopnál levő csomópontra is. A nagyobb terhelés – a főtartó reakcióereje - miatt szükség lehet hosszabb lemez és több csavar alkalmazására.

G5.4 Főtartó gerenda hevederlemezes illesztése

A főtartó gerendát a szállíthatóság miatt max. 12 méter hosszúságú szállítási egységekben lehet csak legyártani. Helyszíni illesztésül hevederlemezes csavarozott kapcsolatot alkalmazzunk, szükség szerint 2 vagy 3 részre tagolva ezzel a tartót. Az illesztés elhelyezésénél tekintettel kell lennünk a szelvényváltásra és a fióktartók becsatlakozására – kellő távolságot kell biztosítanunk mindegyiktől. Az illesztés folytonos kapcsolat kell legyen, „egyenteherbírást” kell biztosítanunk, azaz a ténylegesen fellépő nyíróerőre, valamint a keresztmetszet nyomatéki ellenállására kell méretezni. Mintát mutat a 4.8 példa.

G5.5 Főtartó nyakvarratának vizsgálata

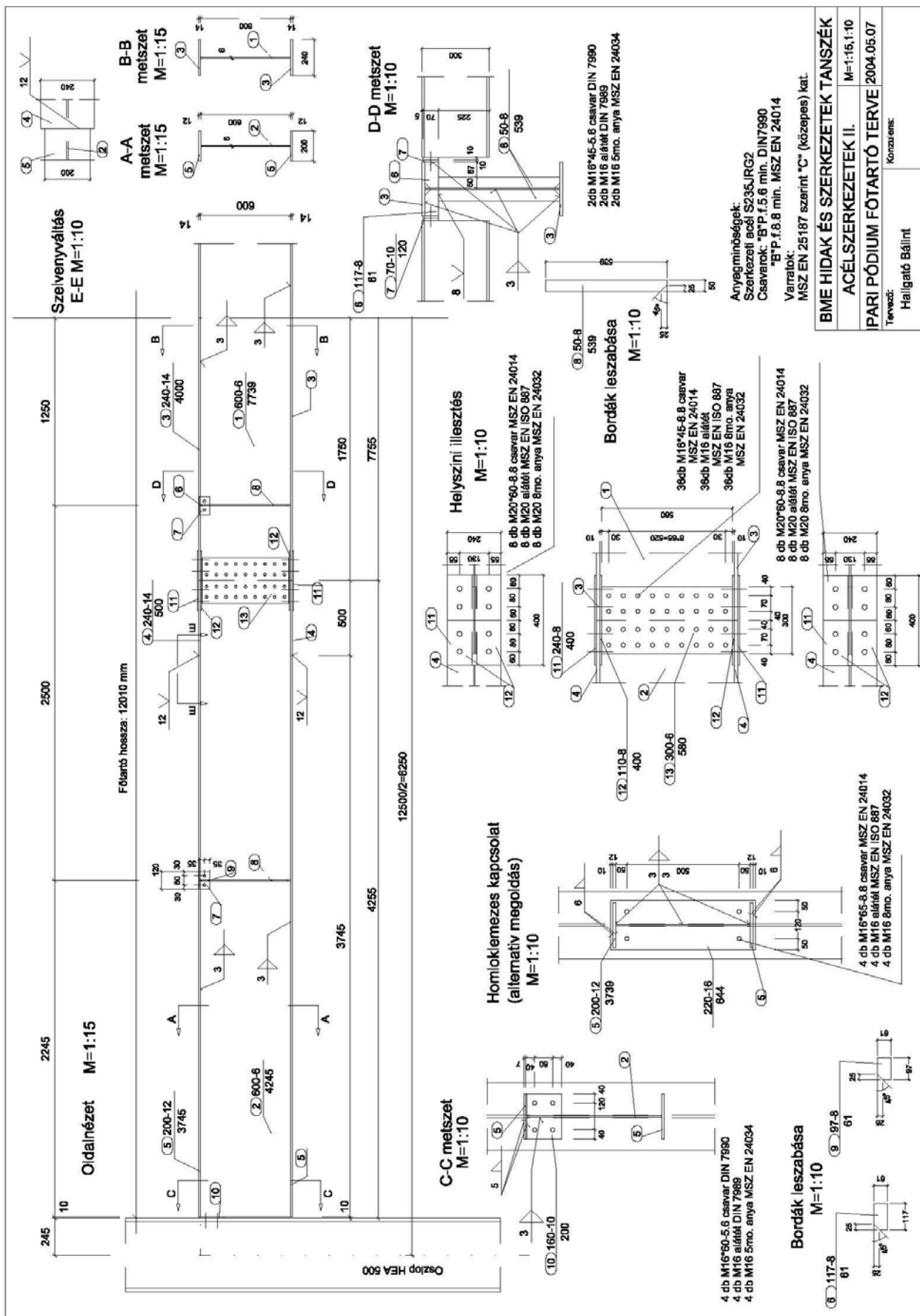
A gerinclemezt és az öveket összekötő varratokat a hajlítással egyidejű nyírásból keletkező csúsztató hatásra kell ellenőrizni. Célszerű kétoldali sarokvarratok használata, a minimálisan elegendő varratmérettel. Az ellenőrzést a támaszok környezetében fellépő maximális nyíróerőre kell elvégezni.

G.6 Anyagkiválasztás

Tartószerkezetünkhöz kellő szívósságú acélményt kell alkalmaznunk. Ehhez ismernünk kell a szerkezetben használatos legnagyobb lemeztvastagságot, a szerkezet üzemi hőmérsékletét (esetünkben 0 fok lehet). Ezután ki kell választanunk a felhasználandó acélfajtát, amelyhez az útmutató F4. függeléke ad segítséget.

G.7 Acélszerkezeti terv

A megtervezett főtartónk acélszerkezeti gyártmánytervét kell elkészíteni. A terven fel kell tüntetni a főtartó leggyártásához szükséges összes információt. A rajzon szerepelnie kell a főtartó oldalnézetének (nem kell a teljes tartót megrajzolni, elegendő a felénél kicsit hosszabb szakasz is), valamint a tartó keresztmetszeteinek $M=1:15$ léptékben. A szerkezeti részleteket és csomópontokat $M=1:10$; $M=1:5$ léptékű metszeteken és részletrajzokon kell bemutatni. A rajz elkészítése során be kell tartani a rácsos tartó előző félévben elkészített tervénél megismert szabályokat (ld. R.4.6). Egy mintaképpen használható rajzot az 5. 24. ábra mutat.



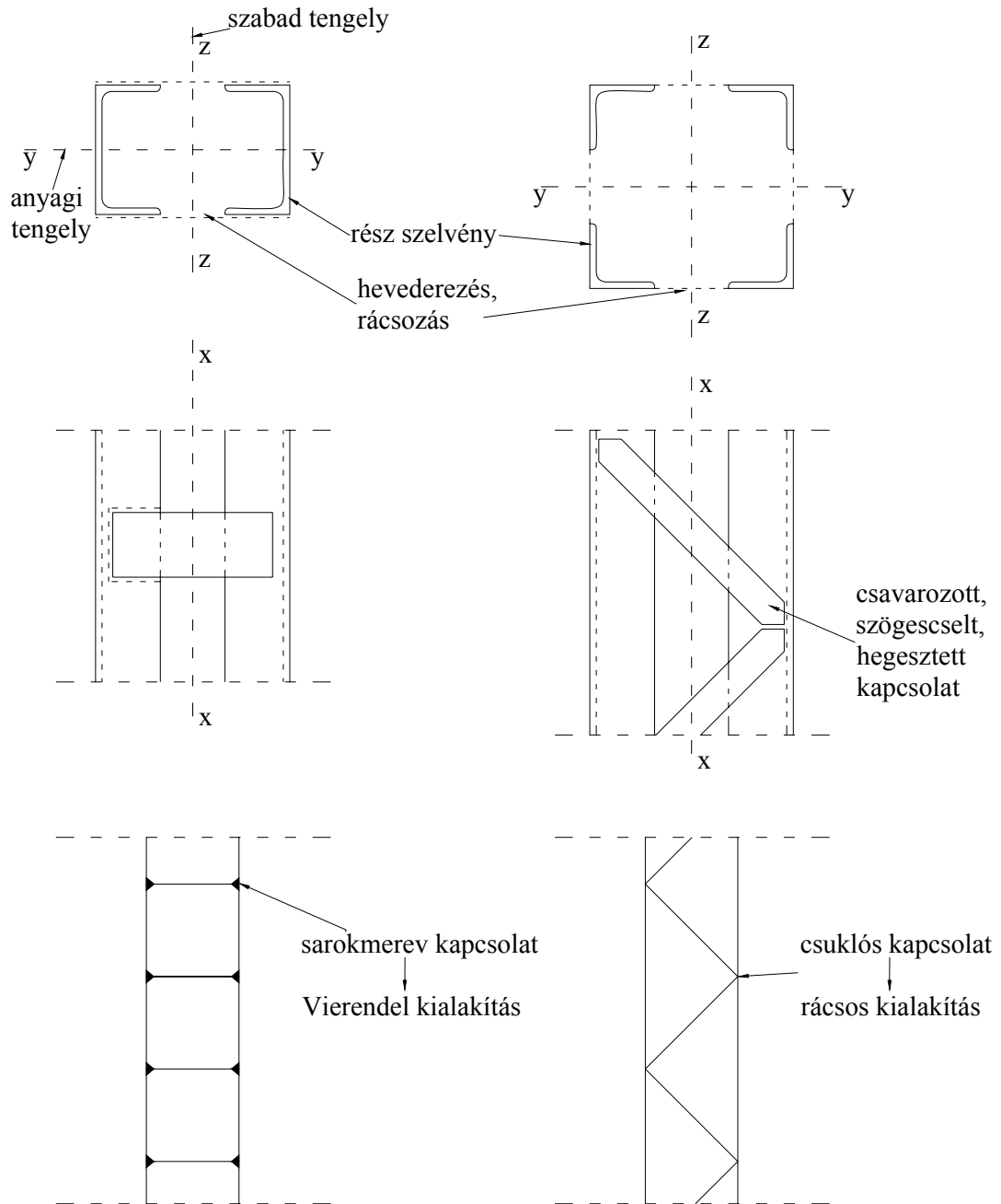
5.24. ábra: Tömör gerendatartó terve.

5.3. Osztott szelvényű nyomott oszlop

5.3.1 Szerkezeti kialakítás

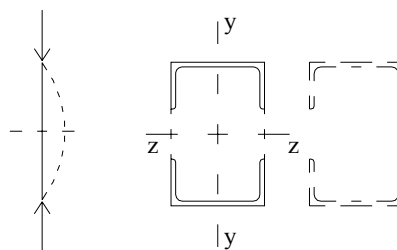
Cél: nyomott szerkezeti elem – azonos km. terület „A”

↓
nagyobb hajlítási merevség (EI)

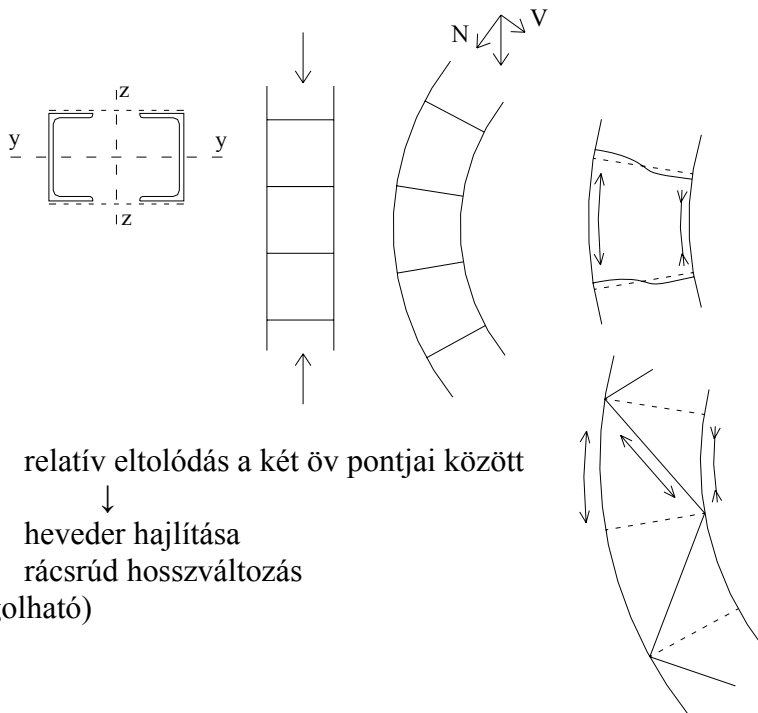


5.3.2 Szerkezeti viselkedés

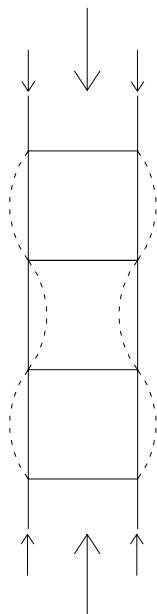
- anyagi tengelyre merőlegesen - síkbeli kihajlás
tömör tengelyű rúd



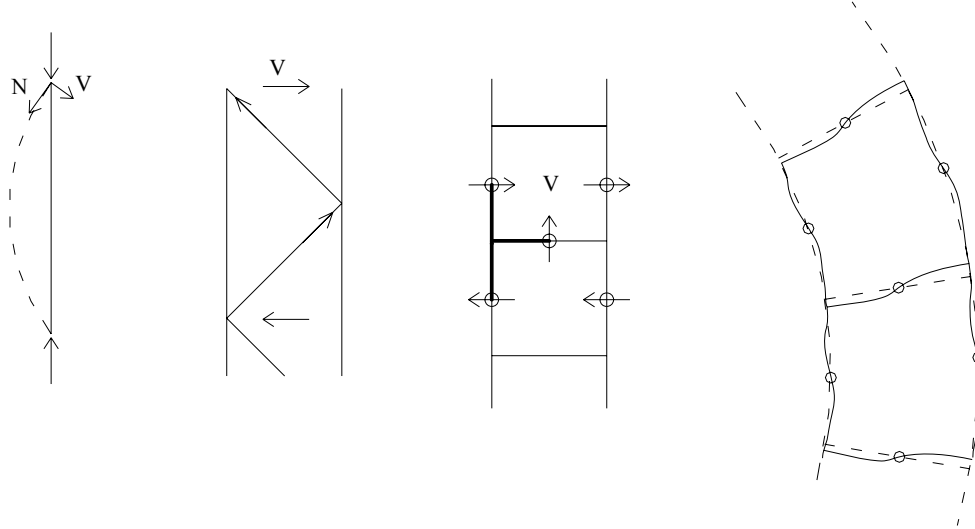
- szabad tengelyre merőlegesen - síkbeli kihajlás, de hajlítási és nyírási deformációk



- rész-szelvény kihajlás

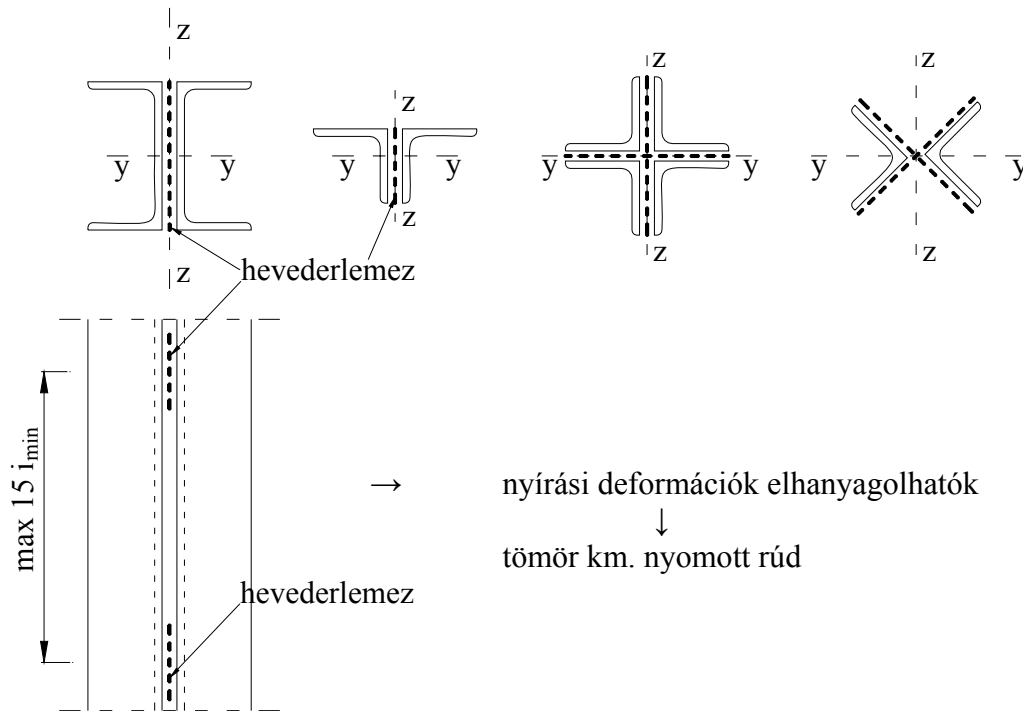


- hevederezés, rácsoszás + kapcsolatok
- fiktív nyírőerő felvétele



5.3.3 Méretezés

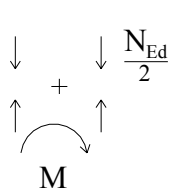
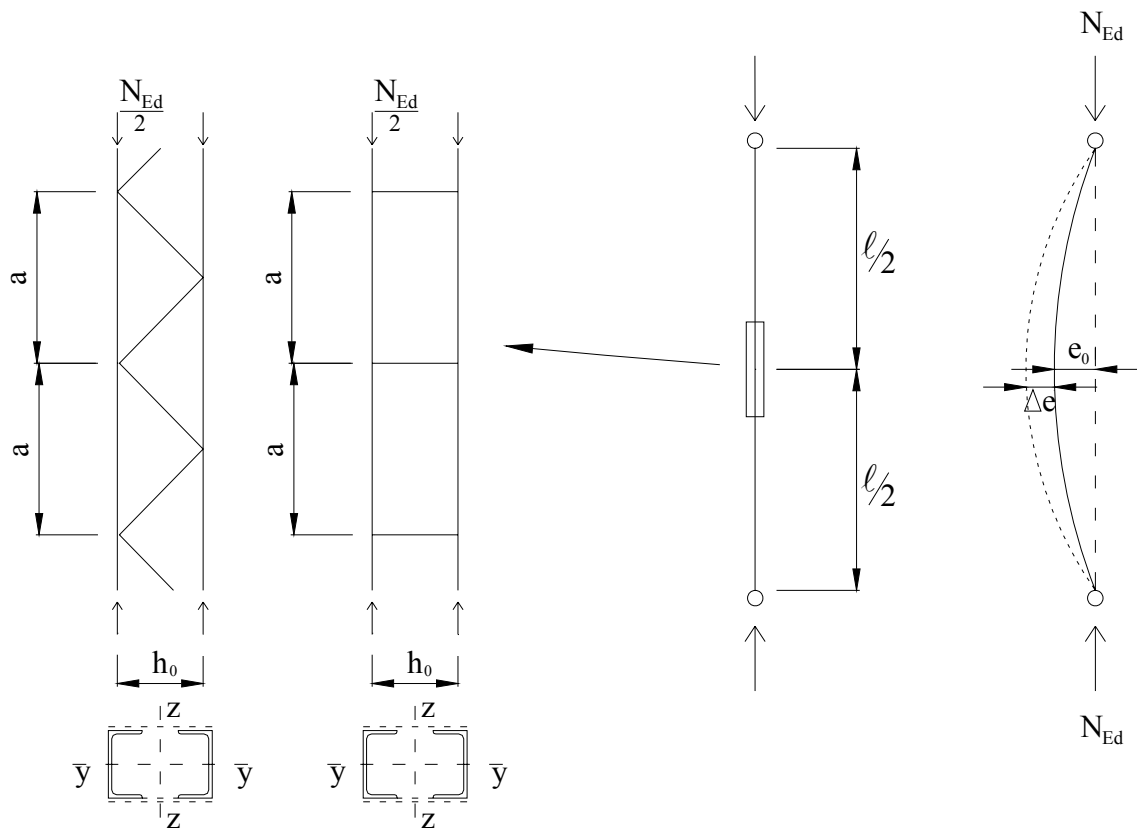
Kis hézagú (szorosan kapcsolt) osztott szelvényű rudak



Általános méretezési elv:

szerkezet → statikai modell
 ↓
 globális analízis
 ↓
 méretezés

~ nyírési deformációk
 ~ geometriai imperfekciók
 ~ mértékadó rész szelvény nyomóereje
 ↓
 ~ rész szelvény kihajlási ellenállása



$$N_{f,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{f,Ed}}{I_{eff}} \cdot \frac{h_0}{2} \cdot A_f$$

$$M_{f,Ed} = N_{Ed} (e_0 + \Delta e) \quad \text{másodrendű hatás}$$

I_{eff} - effektív inercia

hajlítási + nyírási merevség

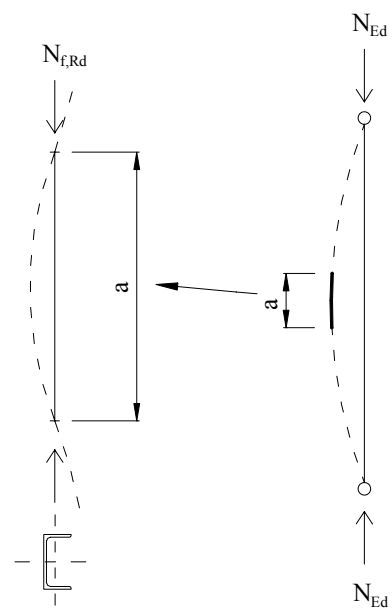
ekvivalens nyírási merevség

Mértékadó rész szelvény:

$$\underline{N_{f,Ed} \leq N_{b,Rd}}$$

$N_{f,Ed}$: rész-szelvényben fellépő nyomóerő

$N_{b,Rd}$: rész-szelvény kihajlási ellenállása



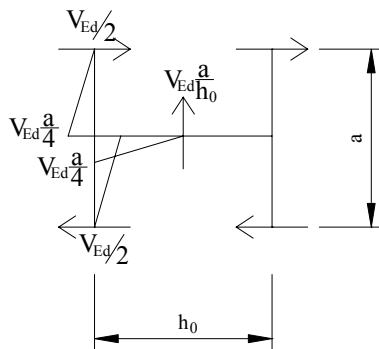
Kiegészítő vizsgálatok:

elemvég \rightarrow nyíróerő felvétele $V_{Ed} \sim \pi \frac{M_{f,Ed}}{\ell}$

$V_{Ed} \rightarrow$ rácsozás $N_{Ed} \leftrightarrow N_{t,Rd}$
 $N_{b,Rd}$



$V_{Ed} \rightarrow$ hevederezés
 \downarrow
 hajlított/nyírt elem
 \downarrow
 méretezés



+ rácsrúd bekötések (N^+)
 + heveder – öv kapcsolat (M, V)

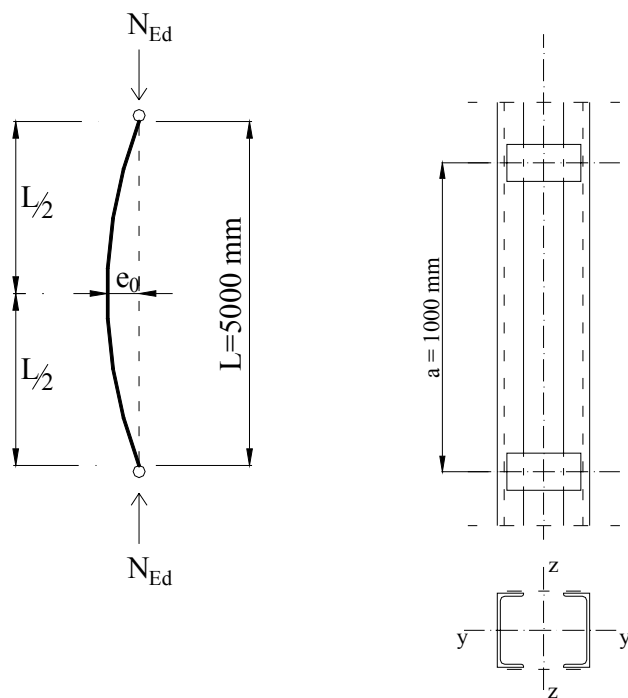
karcsúság	μ hatékonysági tényező
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
Ahol: $\lambda = \frac{L}{i_0}$; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	

5.5. táblázat: Hatékonysági tényező.

5.5 Példa

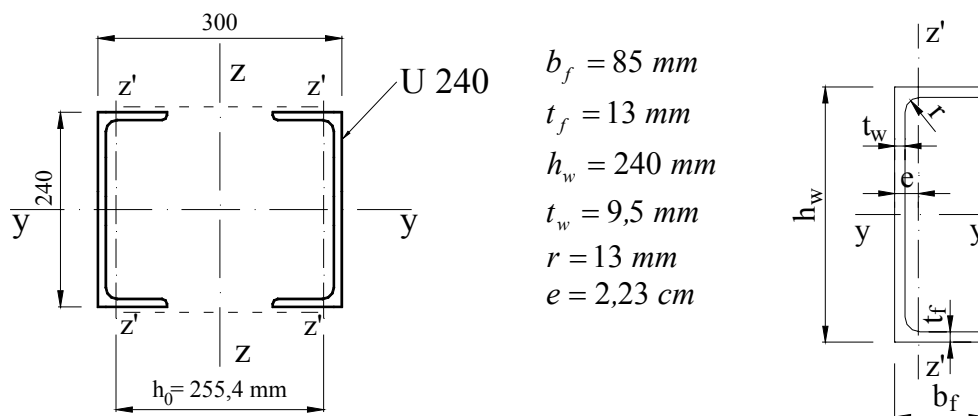
Ellenőrizzük az 5.24. ábrán szereplő osztott szelvényű rudat $N_{Ed} = 1250 \text{ kN}$ központos nyomóerőre! A rúd hossza 5 m és 1 m-ként hevederezéssel kötjük össze az U 240-es szelvényeket (5.25. ábra).

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $\varepsilon = 1,0$ (lsd. 3.2. táblázat)



5.25. ábra: Az osztott szelvényű rúd kialakítása.

A szelvény geometriája: (5.26. ábra)



5.26. ábra: Szelvény geometria.

1 db U 240-es szelvény adatai:

$A_{ch} = 42,3 \text{ cm}^2$ keresztmetszeti terület (táblázatból),

$I'_z = 248 \text{ cm}^4$ inercia a szelvény gyenge tengelyére (5.24. ábra)

$i'_z = 2,42 \text{ cm}$; $i_y = 9,22 \text{ cm}$ inerciasugarak (táblázatból),

Effektív inercia számítása:

$$I_{eff} = 0,5 \cdot h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch}$$

$I_{ch} = I'_z$ az alkotó szelvény inerciája.

μ hatékonysági tényező (5.5. táblázat)

$$I_1 = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch} = 0,5 \cdot 25,54^2 \cdot 42,3 + 2 \cdot 248 = 14291,97 \text{ cm}^4$$

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}} = \sqrt{\frac{14291,97}{2 \cdot 42,3}} = 13,0 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L}{i_0} = \frac{500}{13} = 38,46$$

Mivel $\lambda = 38,46 < 75 \rightarrow \mu = 1,0$

Tehát $I_{eff} = I_1 = 14291,97 \text{ cm}^4$

Külpontosság:

$$e_0 = L / 500 = 500 / 500 = 1 \text{ cm}$$

A keresztmetszet osztályozása tiszta nyomásra:

Öv:

$$c_f = b_f - r - t_w = 85 - 13 - 9,5 = 83,63 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{83,63}{9,5} = 8,8 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1.keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 240 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 13 = 188,0 \text{ mm}$$

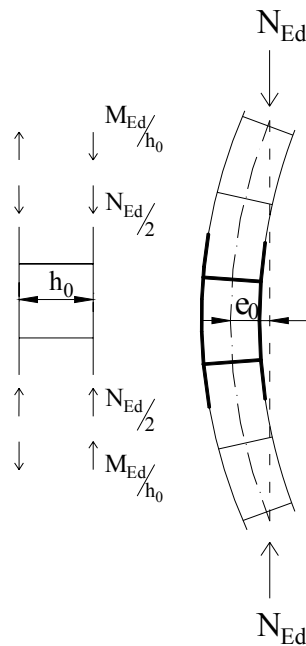
$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{188,0}{9,5} = 19,79 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályú.

Tervezési nyomóerő meghatározása:

Az osztott szelvényű rúd alkotó szelvényét az N_{Ed} nyomóerőből és $e_0 = L / 500$ külpontosságból származó M_{Ed} nyomatékból származó, a rúd hossz felében fellépő $N_{ch,Ed}$ nyomóerőre kell ellenőrizni (5.25. ábra).



5.27. ábra: Tervezési nyomóerő.

$$N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_{ch}}{2I_{eff}}$$

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

Ahol

N_{cr} : az alkotó szelvény kritikus ereje

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2} = \frac{\pi^2 21000 \cdot 14291,97}{500^2} = 11848,70 \text{ kN}$$

S_v : nyírási merevség

$$S_v = \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} = \frac{2 \cdot \pi^2 21000 \cdot 248}{100^2} = 10280,18 \text{ kN}$$

A külpontosságból származó hajlító nyomaték:

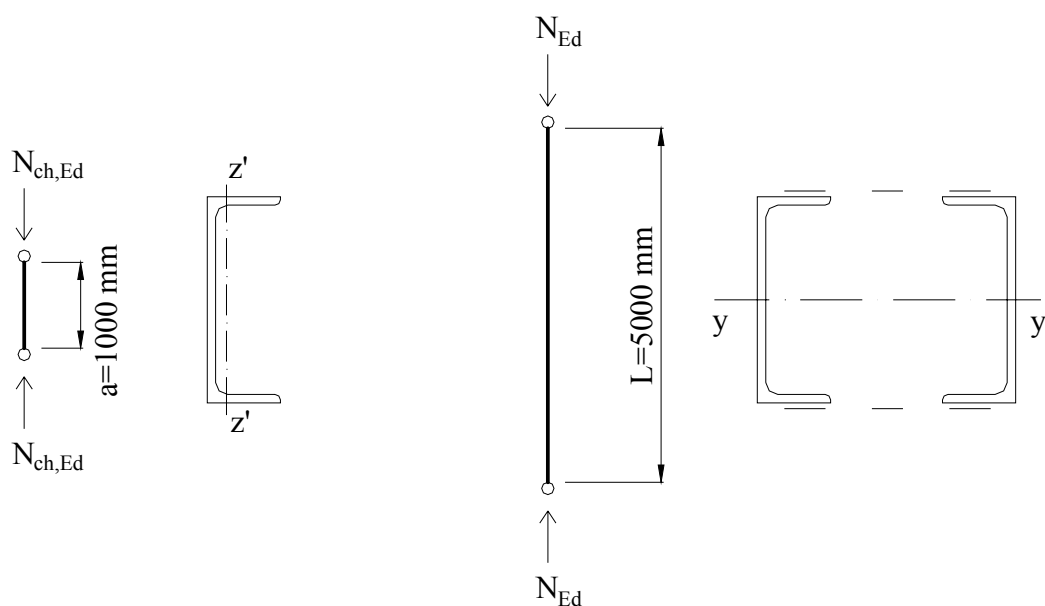
$$M_{Ed} = \frac{1250 \cdot 1}{1 - \frac{1250}{11848,70} - \frac{1250}{10280,18}} = 1617,26 \text{ kNm}$$

Tervezési nyomóerő az alkotó szelvényben:

$$N_{ch,Ed} = \frac{1250}{2} + \frac{1617,26 \cdot 25,54 \cdot 42,3}{214291,97} = 633,15 \text{ kN}$$

1 db U240-es szelvényből álló nyomott rudat kell ellenőriznünk $N_{ch,Ed}$ központos nyomóerőre a hevederek közötti szakasz kihajlása alapján, lásd 5.26. a) ábra. Az anyagi

tengelyre merőleges síkú kihajlás esetén a rúd kihajlási ellenállását úgy számoljuk, mintha tömör (2 db U240-es szelvényből álló) rúd lenne, 5.26. b) ábra.



a) kihajlás a hevederek között

b) kihajlás az anyagi tengely körül

5.28. ábra: Tervezési nyomóerő.

A karcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot L}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 500}{9,22} = 54,22$$

$$\lambda'_z = \frac{v_z \cdot a}{i'_z} = \frac{1,0 \cdot 100}{2,42} = 41,32$$

A viszonyított karcsúságok:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{54,22}{93,9} = 0,577$$

$$\bar{\lambda}'_z = \frac{\lambda'_z}{\lambda_1} = \frac{41,32}{93,9} = 0,44$$

A χ csökkentő tényező meghatározása: (táblázatból)

$$\bar{\lambda}_y = 0,577 \rightarrow c \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,7988$$

$$\bar{\lambda}'_z = 0,44 \rightarrow c \text{ kihajlási görbe} \quad \chi'_z = 0,8760$$

A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:

Kihajlás az y-y tengely körül

$$N_{b,Rd}^y = \chi_y \cdot \frac{2A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,7988 \cdot \frac{2 \cdot 42,3 \cdot 23,5}{1,0} = 1588 \text{ kN}$$

Kihajlás az z'-z' tengely körül

$$N_{b,Rd}^{z'} = \chi_z' \cdot \frac{A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,8760 \cdot \frac{42,3 \cdot 23,5}{1,0} = 870,79 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

Kihajlás az y-y tengely körül

$$N_{b,Rd}^y = 1907,18 \text{ kN} > N_{Ed} = 1250 \text{ kN} \rightarrow \text{MEGFELEL!}$$

Kihajlás a z'-z' tengely körül

$$N_{b,Rd}^{z'} = 870,79 \text{ kN} > N_{ch,Ed} = 633,15 \text{ kN} \rightarrow \text{MEGFELEL!}$$

Függelék:

F1 Acélszerkezeti termékek

F1.1 Melegen hengerelt I- és H-szelvények

F1.2 Zártszelvények

F2 Összetett szelvények – keresztmetszeti jellemzők

F3 Szabványos rajzi jelölések

F4 Anyag kiválasztás

Az MSZ EN 10025:1998 Melegen hengerelt termékek ötvözetlen szerkezeti acélból.

Műszaki szállítási feltételek szabvány legfontosabb adatai

A szabvány 39 oldalas, ezért itt csak az oktatási szempontból legfontosabb ismereteket közöljük.

A szabvány hétféle acélminőséget különböztet meg, amelyek a következők: S185 (nem javasolható szerkezetépítési célra), S235, S275, S355, E295, E335 és E360.

Az S235 és S275 minőségű acél JR, J0 és J2, míg az S355 minőségű JR, J0, J2 és K2 minőségi csoportokban szállítható. A J2 és K2 minőségi csoportoknál a táblázatnak megfelelően G3 és G4 alcsoportok is vannak.

A minőségi csoportok a hegeszthetőségben és az előírt ütőmunka követelményben térnek el egymástól. Az S185, E295, E335 és E360 acélok hegeszthetőségére nincs előírás, mert vegyi összetételükre nincs követelmény. A JR, J0, J2Gx és K2Gx acélok minden eljárással hegeszthetők, JR-től K2-ig terjedően a hegeszthetőség javul.

Az *F.4.1. táblázatban* a hosszirányú KV-ütőmunka (Charpy-próba) lapos termékekre, rúd- és idomacélokra (t=10-150 mm) van feltüntetve:

Acélminőség EN-jele	Hőmérséklet [°C]	Min. KV (Joule)
S235JR-S235JRG2	+ 20	27
S235J0	0	
S235J2G3-S235J2G4	- 20	
S275JR	+ 20	27
S275J0	0	
S275J2G3-S275J2G4	- 20	
S355JR	+ 20	27
S355J0	0	
S355J2G3-S355J2G4	- 20	
S355K2G3-S355K2G4	- 40	40

F.4.1. táblázat: Ütőmunka.

Az MSZ EN 10025 szerinti acélok tájékoztató összehasonlítása a korábbi magyar acélminőségekkel az *F.4.2. táblázatban* található.

Acéltartók anyagminőségének kiválasztásáról

Egy tartószerkezet tervezésének egyik fontos, befejező lépése az alkalmazandó acél kiválasztása, ugyanis a számítás készítése során csak a szilárdsági csoport (az MSZ EN 10025 megnevezése szerint az alkalmazott acélminőség) kérdését tekintjük eldöntöttnek. Olyan anyagot kell kiválasztani az adott szilárdsági csoporton (acélminőségen) belül a rendelkezésre álló választékból, amelyik garantálja, hogy nem fog *rideg törés* bekövetkezni. A tankönyv 4. fejezete és a Táblázatok ... 131.-134. oldalai az anyagkiválasztáshoz részletes információt tartalmaznak, azonban azóta hivatalosan érvénytelenné vált acélminőségekre vonatkoznak.

Az *F.4.3 táblázat* tartalmazza az MSZ EN 10025:1998 Melegen hengerelt termékek ötvözetlen szerkezeti acélokból. Műszaki szállítási feltételek szabvány szerinti szerkezeti acélok jelölését, valamint az azoknak korábbi magyar acélszabványok szerint megfeleltethető acéljelöléseket. Mivel a tankönyv és a Táblázatok az MSZ 500:1981 és MSZ 6280:1982

szerinti acélokra mutatják be az MSZ 15024-1:1985 szabvány szerinti anyagválasztási eljárást, az alkalmazandó új acélminőséget ennek a táblázatnak az alapján lehet meghatározni. Az MSZ EN 10025 szerinti acélok tájékoztató összehasonlítása a korábbi magyar acélminőségekkel (a szabvány melléklete alapján):

MSZ EN 10025	MSZ 500:1989	MSZ 500:1981	MSZ 6280:1982
S185	Fe 310-0	A 0 (nincs előírt folyási határ)	
S235JR	Fe 235 B (tetsz.csillapított)	A 38	
S235JRG1	Fe 235 B (csillapítatlan)	A 38 X	
S235JRG2	Fe 235 B (nem csillapítatlan)	A 38 B	37 B
S235J0	Fe 235 C		37 C ²⁾
S235J2G3	Fe 235 D ¹⁾		37 D ²⁾
S235J2G4	Fe 235 D		
S275JR	Fe 275 B	A 44	45 B
S275J0	Fe 275 C		45 C ²⁾
S275J2G3	Fe 275 D ¹⁾		45 D ²⁾
S275J2G4	Fe 275 D		
S355JR	Fe 355 B		
S355J0	Fe 355 C		52 C ²⁾
S355J2G3			
S355J2G4			
S355K2G3	Fe 355 D ¹⁾		52 D ²⁾
S355K2G4	Fe 355 D		
E295	Fe 490-2	A 50	
E335	Fe 590-2	A 60	
E360	Fe 690-2	A 70 (nincs előírt folyási határ)	

¹⁾ Csak hosszú termékek ²⁾ Mikroötvözéssel gyártott

F.4.2. táblázat: Acélminőségek.

Az anyagválasztáshoz az F.4.2. táblázatnak az alapján lehet az [1] 131-134. oldalait használni. A 37-es szilárdsági csoport S235 minőségnek, a 45-ös S275-nek, az 52-es pedig S355-nek felel meg.

Acélminőség EN-jele	Dezoxi- dálás módja	Acél- típus	C% max.		Mn	Si	P	S	Max. CEV ²⁾	Min. R _{eH}		R _m	Min.szakadó nyúlás ³⁾
			t≤16	16<t≤40						N/mm ²			
			max. %				t≤40	t≤16	16<t≤40	3≤t≤100	%		
S185	tetsz.	BS	--	--	--	--	--	--	--	185	175	290-510	18
S235JR ¹⁾	tetsz.	BS	0,17	0,20	1,40 (1,50)	--	0,045		0,35	235	225	340-470	26
S235JRG1 ¹⁾	FU	BS	(0,21)	(0,25)			(0,055)						
S235JRG2	FN	QS	0,17 (0,19)				0,040 (0,050)						
S235J0	FN	QS					0,035 (0,045)						
S235J2G3	FF	QS											
S235J2G4	FF	QS											
S275JR	FN	BS	0,21 (0,24)		1,50 (1,60)	--	0,045 (0,055)		0,40	275	265	410-560	22
S275J0	FN	QS	0,18 (0,21)				0,040 (0,050)						
S275J2G3	FF	QS					0,035 (0,045)						
S275J2G4	FF	QS											
S355JR	FN	BS	0,24 (0,27)		1,60 (1,70)	0,55 (0,60)	0,045 (0,055)		0,45	355	345	490-630	22
S355J0	FN	QS	0,20 (0,23) t>30 mm-nél 0,22 (0,24)				0,040 (0,050)						
S355J2G3	FF	QS					0,035 (0,045)						
S355J2G4	FF	QS											
S355K2G3	FF	QS											
S355K2G4	FF	QS											
E295	FN	BS			0,045 (0,055)				290	285	490-660	20	
E335	FN	BS							335	325	590-770	16	
E360	FN	BS							360	355	690-900	11	

A vegyi összetétel adatai a szabvány 2. táblázatából (adagelemzés szerinti értékek), illetve a 3. táblázatából (a termék vegyelemzése szerinti értékek, zárójelbe téve) származnak.

FU = csillapítatlan acél **FN** = csillapítatlan acél nem lehet **FF** = teljesen csillapított acél (min. 0,02% Al-ot tartalmaz a nitrogén lekötésére, amelynek értékeit a szabvány ugyancsak tartalmazza) **BS** = alapacél **QS** = minőségi acél

¹⁾ Legfeljebb 25 mm vastagságig

²⁾ Adagelemzés alapján

³⁾ $L_0=5,65\sqrt{S_0}$ bázishosszon mérve

CEV = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V) / 5 + (Ni + Cu) / 15 (karbon egyenérték)

F.4.3. táblázat: MSZ EN 10025:1998 Melegen hengerelt termékek ötvözetlen szerkezeti acélokból. Műszaki szállítási feltételek.

