

A.22. Kapcsolatok. Gyakorlati módszerek

A.22.1. Bevezetés

Kétféle lehetőség adódik a tervezési gyakorlatban a kapcsolatok vizsgálatára:

- *számítási eljárás;*
- *tervezési táblázatok.*

A *számítási eljárásnak* az a célja, hogy a tervezők segítségére legyen a kapcsolatok félmerev viselkedéséből származó előnyök kiaknázásában anélkül, hogy az Eurocode 3 1.8. rész szerinti bonyolult számítási eljárást végig kellene követni.

A táblázatos formában közreadott számítási eljárás első oldala összefoglalja a kapcsolat mechanikai és geometriai jellemzőinek felvételét. A további oldalakon először azokat az összefüggéseket találjuk, amelyek megadják az egyes kapcsolati alkotóelemek merevségi és teherbírasi jellemzőit, majd pedig azokat a szabályokat, amelyek szerint a teljes kapcsolat mechanikai jellemzőit (kezdeti és névleges merevséget, tervezési nyomatéki ellenállását) származtatni kell.

Lényeges jellemző még a *kapcsolat nyírási ellenállása* (vagyis a *gerenda végén működő nyíróerővel szembeni ellenállás*). A könnyebb áttekinthetőség kedvéért azonban a számítási eljárás e mennyiség meghatározásával *nem foglalkozik*. A segédlet második része *tervezési táblázatokat* tartalmaz, amelyek általában a számítási eljáráshoz képest is gyorsabb tervezést tesznek lehetővé. A táblázatok a kapcsolódó szerkezeti elemek leggyakrabban előforduló kombinációit tartalmazzák, és a következő információkat adják meg az egyes kialakításokról:

- a tervezéshez szükséges merevségértékeket (a kezdeti és a névleges merevséget);
- a kapcsolat tervezési nyomatéki ellenállását és nyírási ellenállását;
- azt, hogy a kapcsolat mely alkotóelemének tönkremenetele mértékadó a teljes kapcsolat tönkremenetele (azaz a tervezési nyomatéki ellenállás meghatározása) szempontjából;
- a kapcsolat merevség szerinti osztályozásához szükséges határhosszokat.

A táblázatok emellett minden egyes kapcsolati kialakítás részletes jellemzését is tartalmazzák (a homloklemez, a csavarok és a hegesztési varratok anyagjellemzőit és geometriai jellemzőit). A kapcsolatok merevség szerinti osztályozásához szükséges határhosszok fogalmával az előadás B melléklete foglalkozik.

A tervezési táblázatok használhatók egy adott kapcsolat (merevségi és teherbírasi) jellemzőinek meghatározására vagy adott jellemzőkkel rendelkező kapcsolat kiválasztására.

A táblázatokat a számítási eljárás alapján készítettük, és eközben egyes paraméterek értékét úgy igyekeztünk megválasztani, hogy általában a biztonság javára közelítő eredményt kapjunk. Van azonban néhány ritka és szélsőséges eset, amikor a tervezési táblázatok önmagukban nem biztosítják a biztonságos és gazdaságos tervezés követelményeit. Ezek az esetek általában az oszlop gerincpaneljében lévő feszültségek (normál- és nyírófeszültségek), illetve az oszlop övlemezében lévő normálfeszültségek eloszlásával kapcsolatosak. Ezeket a feszültségeloszlásokat az oszlop gerincpaneljére vonatkozó β és k_{wc} , valamint az oszlop övlemezére vonatkozó k_{fc} paraméterek írják le, amelyeket a szerkezeti analízis végén általában ellenőrizni kell.

A β , k_{wc} és k_{fc} paraméterek fizikai jelentését a későbbiekben, a számítási eljárás tárgyalása kapcsán ismertetjük. Ugyanitt ajánlásokat is megfogalmazunk e paraméterek értékének előzetes felvételére; ezen ajánlásokat követtük a tervezési táblázatok készítése közben is.

A tervezési táblázatok készítése közben nemcsak e három paraméter értékét kellett előzetesen felvenni, hanem néhány más, a homloklemez és övbekötő szögacélos kapcsolatokban alkalmazott csavarok és hegesztési varratok méretére vonatkozó döntést is kellett hozni. Végül megismerjük a kapcsolatok merevség szerinti osztályozásához szükséges határhosszok fogalmát.

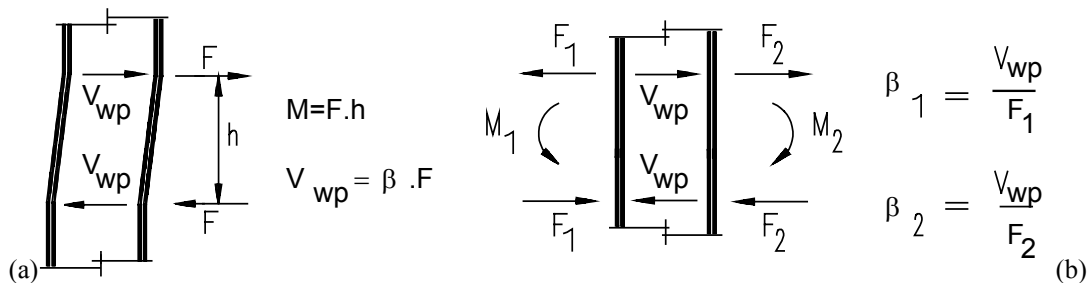
A.22.2. Feszültségek az oszlop gerincpaneljében és övlemezében

A.22.2.1. A β tényező

Az oszlop gerincpaneljének alakváltozásait a gerincpanelben lévő nyíróerő határozza meg [EC3: J2.3.3.]. Ez a nyíróerő (V_{wp}) elsősorban az erőbevezetés miatt fellépő helyi nyíróerőből (F) áll, de emellett tartalmazza az oszlopokban a kapcsolat felett és alatt működő nyíróerők hatását is (A.22.1.a ábra). A tervezés során a V_{wp} nyíróerőt úgy kapjuk, hogy az F erőt megszorozzuk egy β paraméterrel (A.22.1.b ábra). Szigorúan véve a gerincpanel merevségét és ellenállását egyaránt befolyásoló β paraméter értéke csak fokozatos közelítéssel határozható meg. Ha azonban az A.22.1. táblázatban található biztonságos értékekből indulunk ki, akkor általában nem lesz szükség fokozatos közelítésre (azaz nem szükséges a javított β értékek alapján újból elvégezni a szerkezet analízisét).

Kétoldali kapcsolati elrendezés esetén az A.22.1. táblázat szerinti β értékek nagysága attól függ, hogy a bal és jobb oldali gerendavégre működő nyomatékok egymáshoz képest mekkorák. A tervezés kezdeti szakaszában ezek a nyomatékok (eltekintve néhány különleges terhelésű és geometriájú esettől) általában nem ismertek, ezért a tervező nem tudja a β paraméter helyes értékét felvenni. E nehézség kiküszöbölésére a következők szerint célszerű eljárni.

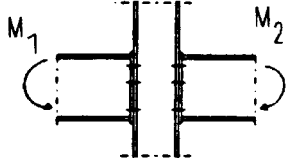

Kiindulásként $\beta = 1$ értéket célszerű felvenni. A tervezési táblázatok is $\beta = 1$ alapján készültek.



A.22.1. ábra: A gerincpanelre működő nyíróerők. (a) Jelölések; (b) A β paraméter értékei

A.22.1. táblázat: Ajánlott β értékek

Kialakítás és terhek	β ajánlott értéke
	$\beta = 1$

	$\beta_1 = \beta_2 = 0$ ha $ M_1 \cong M_2 $ $\beta_1 = \beta_2 = 1$ ha $ M_1 \neq M_2 $
	$\beta_1 = \beta_2 = 2$ általában $\beta_1 = \beta_2 = 1$ ha $ M_1 \cong 0$ vagy $ M_2 \cong 0$

Miután elvégeztük a szerkezet analízisét a fémrerv kapcsolatok figyelembevételével, ellenőrizni kell, hogy az analízis előtt tett feltételezés ($\beta = 1$) helytálló-e, és szükséges, illetve érdemes-e a kapcsolat tervezését és/vagy a szerkezet analízisét az új, módosított β értékkel megismételni. Ennek során célszerű tisztában lenni a következő szempontokkal.

- Ha az új érték $\beta = 0$, akkor az előző, $\beta = 1$ alapján elvégzett analízis biztonságos (a biztonság javára közelít). Ennek megfelelően az elvégzett analízis eredményei változtatás nélkül felhasználhatók, vagy a tervezési segédlet számítási eljárása alapján a javított β értékkel meghatározhatók a kapcsolat új jellemzői, és ezekkel újabb szerkezeti analízis hajtható végre.
- Ha az új érték $\beta = 2$, akkor a $\beta = 1$ alapján elvégzett analízis nem biztonságos, és a tervezési segédlet számítási eljárása szerint $\beta = 2$ figyelembevételével meghatározott kapcsolati jellemzők alapján újból el kell végezni a szerkezet analízisét. Erre azonban a gyakorlatban szerencsére csak kivételes esetekben van szükség.

Ha második szerkezeti analízist hajtunk végre, akkor ennek során célszerű a kapcsolatok és/vagy a szerkezeti elemek minden szükséges módosítását figyelembe venni.

A.22.2.2. A k_{wc} tényező

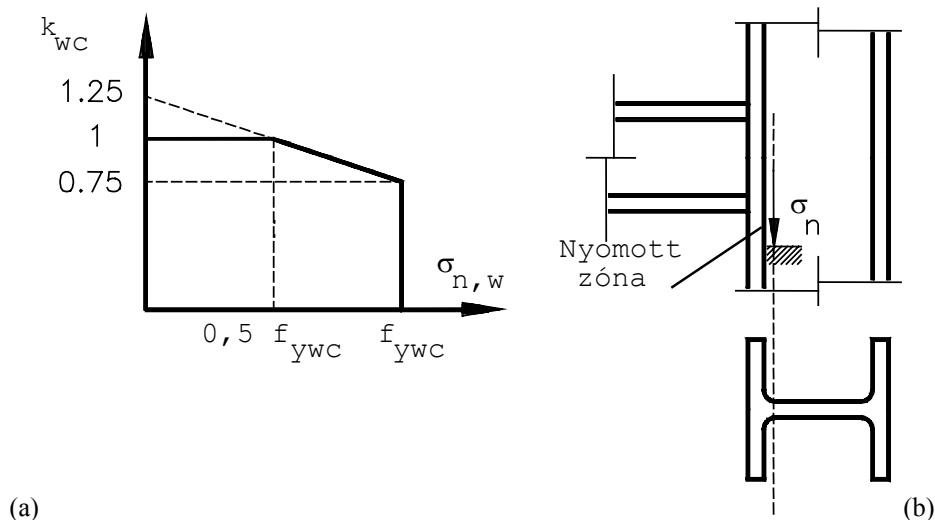
A k_{wc} tényező azt a kedvezőtlen hatást veszi figyelembe, amelyet az oszlop gerinclemezában működő hosszirányú, az oszlop normálerejéből és hajlító nyomatékából származó normálfeszültségek gyakorolnak az oszlop nyomott gerinclemezában helyi tervezési (horpadási) ellenállására.

A k_{wc} tényezőt a következő összefüggés szolgáltatja:

$$k_{wc} = (1,25 - 0,5 \frac{\sigma_{n,wc}}{f_{ywc}}) \leq 1,0, \quad (1)$$

ahol f_{ywc} az oszlop gerinclemezában folyáshatára, $\sigma_{n,wc}$ pedig a gerinclemezában az öv és a gerinc közötti lekerekítési sugár kezdeténél, éppen a kapcsolaton kívül működő, normálerejből és hajlításból származó legnagyobb hosszirányú nyomófeszültség (A.22.2.b ábra). A tényező értékét a A.22.2.a ábra szemlélteti.

A k_{wc} tényező értéke 1,0 és a legkedvezőtlenebb esetet jelentő 0,75 között lehet. A tervezés szempontjából azonban általában biztonságos eredményt kapunk, ha $k_{wc} = 1,0$ feltételezéssel élünk, mert többnyire $\sigma_{n,wc} < 0,5f_{ywc}$.



A.22.2. ábra: A k_{wc} tényező értékei és az a hely, ahol a $\sigma_{n,wc}$ feszültséget számítani kell.

(a) A k_{wc} csökkentő tényező; (b) A $\sigma_{n,wc}$ feszültség helye

A tervezési táblázatok is $k_{wc} = 1,0$ feltételezéssel készültek.

A keret analízisének végeztével alapvető fontosságú, hogy ellenőrizzük az oszlop gerinclemezében működő feszültségekre tett előzetes feltételezésünket. Ha azt találjuk, hogy k_{wc} értéke 1-nél kisebb, akkor a tervezési segédletben megadott számítási eljárás alapján ellenőrizni kell, hogy nem csökkent-e a kapcsolat tervezési ellenállása (ehhez csupán az oszlop nyomott gerinclemezének tervezési ellenállását kell újból kiszámítani). A kapcsolat merevségét ez a tényező nem befolyásolja.

A.22.2.3. A k_{fc} tényező

A k_{fc} tényező azt a kedvezőtlen hatást veszi figyelembe, amelyet az oszlop övlemezében működő hosszirányú, az oszlop normálerejéből és hajlító nyomatékából származó normál feszültségek gyakorolnak az oszlop hajlított övlemezének helyi tervezési ellenállására.

A k_{fc} tényezőt a következő összefüggés szolgáltatja:

$$k_{fc} = 1 \quad \text{ha} \quad \sigma_{n,fc} \leq 180 \text{ N/mm}^2; \quad (2a)$$

$$k_{fc} = \frac{2f_{yfc} - 180 - \sigma_{n,fc}}{2f_{yfc} - 360} \quad \text{ha} \quad \sigma_{n,fc} > 180 \text{ N/mm}^2, \quad (2b)$$

ahol f_{yfc} az oszlop övlemezének folyáshatára, $\sigma_{n,fc}$ pedig az övlemez súlypontjában működő, a normálerejből és a hajlításból származó legnagyobb hosszirányú nyomófeszültség. A (2) egyenletekben a feszültségértékeket N/mm^2 mértékegységben kell beírni.

A k_{fc} tényező értéke 1,0 és a legkedvezőtlenebb esetet jelentő 0,5 között lehet. A tervezés szempontjából azonban általában biztonságos eredményt kapunk, ha $k_{wc} = 1,0$ feltételezéssel élünk, mert többnyire $\sigma_{n,fc} < 0,5f_{yfc}$.

A tervezési táblázatok is $k_{fc} = 1,0$ feltételezéssel készültek.

A keret analízisének végeztével alapvető fontosságú, hogy ellenőrizzük az oszlop övlemezében működő feszültségekre tett előzetes feltételezésünket. Ha azt találjuk, hogy k_{fc} értéke 1-nél kisebb, akkor a tervezési segédletben megadott számítási eljárás alapján ellenőrizni kell, hogy nem csökkent-e a kapcsolat tervezési ellenállása (ehhez csupán az oszlop nyomott gerinclemezének tervezési ellenállását kell újból kiszámítani). A kapcsolat merevségét ez a tényező nem befolyásolja.

A.22.3. További tervezési megfontolások

A tervezési táblázatok készítése során néhány olyan kérdésben döntést kellett hoznunk, amelyek befolyásolják a kapcsolatok tervezését és mechanikai jellemzőit. A következő kérdésekről van szó:

- a gerenda övlemezeit a homloklemezhez kapcsoló hegesztési varratok méretéről;
- a túlnyúló homloklemez kapcsolatokban alkalmazott csavarok átmérőjéről;
- a gerincbekötő szögacélnak a kapcsolat viselkedésére gyakorolt hatásáról övbekötő szögacélos kapcsolatokban;
- az övbekötő szögacélokból bekövetkező megcsúszásról;
- arról, hogy milyen kialakítású kapcsolatok szerepeljenek a tervezési táblázatokban.

A.22.3.1. A hegesztési varratok méretei

Feltételezzük, hogy a homloklemez kapcsolatokban a gerendát a homloklemezhez kétoldali sarokvarratok kapcsolják.

A következőkben áttekintjük a varratok tervezése során felhasználandó alapösszefüggéseket, amelyek mind túlnyúló, mind nem túlnyúló homloklemez kapcsolatokra érvényesek abban az esetben, ha a homloklemez magasabb, mint a gerenda keresztmetszete. Kétféleképpen járhatunk el.

1. Tervezés a gerenda ellenállása alapján

A gerenda övlemezét a homloklemezhez kapcsoló sarokvarratok ellenállása legyen legalább akkora, mint az övlemez $N_{t,Rd}$ képlékeny ellenállása:

$$N_{t,Rd} = b_f t_{fb} f_{yfb} / \gamma_{M0}, \quad (3)$$

ahol f_{yfb} a gerenda övlemezének folyáshatára, t_{fb} az övlemez vastagsága, b_f pedig a gerendaszelvény szélessége.

A hegesztési varratok egyszerűsített ellenőrzése szerint:

$$2a_f b_f f_{yw,d} \geq N_{t,Rd}, \quad (4)$$

ahol a hegesztési varrat tervezési nyírószilárdsága:

$$f_{yw,d} = f_u / \sqrt{3} \beta_w \gamma_{Mw}, \quad (5)$$

amelyben a_f a hegesztési varrat gyökmérete, f_u pedig a gyengébbik kapcsolt elem (a homloklemez vagy a gerenda övlemez) anyagának szakítószilárdsága.

A hegesztési varrat méretére a következő összefüggést kapjuk:

$$a_f \geq \sqrt{3} \gamma_{Mw} \beta_w f_{yb} t_{fb} / 2 f_u \gamma_{M0}. \quad (6a)$$

Az EC3 alapján gazdaságosabb varratméret adódik:

$$a_f \geq \gamma_{Mw} \beta_w f_{yb} t_{fb} / \sqrt{2} f_u \gamma_{M0}. \quad (6b)$$

Hasonló összefüggések vezethetők le a gerenda gerinclemezét a homloklemezhez kapcsoló varratok méretére is. Az előző összefüggésekben a parciális biztonsági tényezők értéke: $\gamma_{Mw} = 1,25$ és $\gamma_{M0} = 1,1$.

A β_w tényező értéke az f_u szakítószilárdság függvénye:

- S235 acélra $\beta_w = 0,80$;
- S275 acélra $\beta_w = 0,85$;
- S355 acélra $\beta_w = 0,90$;
- S420 és S460 acélra $\beta_w = 1,00$.

2. Tervezés a kapcsolat ellenállása alapján

A gerenda övlemezében működő tervezési erő értéke a biztonság javára közelítve:

$$F_{Rd} = M_{Rd} / (h_b - t_{fb}), \quad (7)$$

ahol M_{Rd} a kapcsolat tervezési nyomatéki ellenállása, h_b és t_{fb} pedig a gerendaszelvény magassága és övlemezének vastagsága.

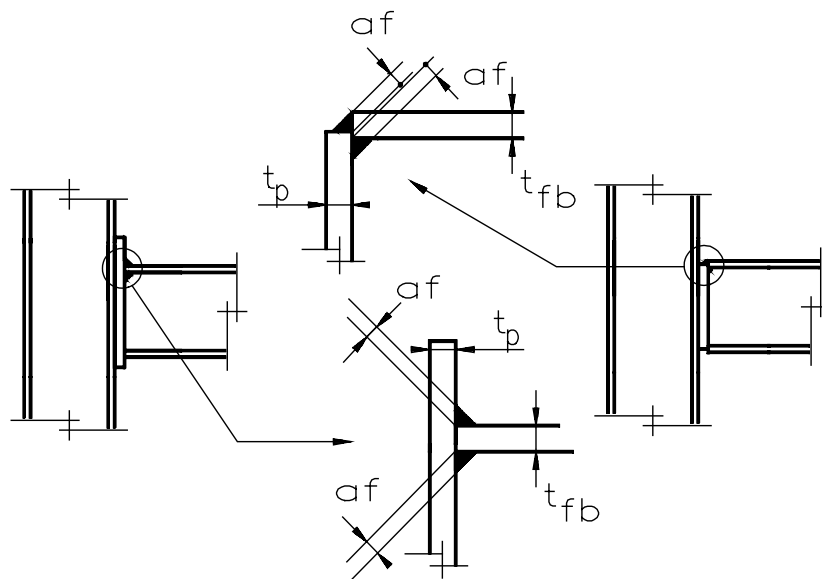
A hegesztési varrat tervezési ellenállása legyen legalább akkora, mint az F_{Rd} överőnek egy γ tényezővel megnövelt értéke. A hegesztési varrat ellenállására adott egyszerűsített képlet alapján:

$$2a_f b_f f_{vw,d} \geq \gamma M_{Rd} / (h_b - t_{fb}). \quad (8)$$

A γ tényező értéke kilengő keretekre $\gamma = 1,7$, nem kilengő keretekre pedig $\gamma = 1,4$.

A hegesztési varratok tervezési ellenállásának azonban semmilyen esetben sem kell meghaladnia az övlemez tervezési képlékeny ellenállásának előzőekben megadott $N_{t,Rd}$ értékét.

Fontos, hogy az előzőekben megadott ellenőrzés nem veszi figyelembe a gerendavégén működő nyíróerő hatását, ezért a tervezés során külön gondoskodni kell ezen erő felvételéről.



A.22.3. ábra: A gerenda övlemeze és a homloklemez közötti hegesztési varratok

Az előzőekben megadott eljárások használhatók abban az esetben is, ha nem túlnyúló homloklemez kapcsolásban a homloklemez kis mértékben alacsonyabb, mint a gerendaszelvény. A hegesztési varratok kialakítását ebben az esetben a A.22.3.b ábra mutatja.

Kis és közepes méretű gerendaszelvények esetén (kb. 400 mm magasságig) a gerenda ellenállására való tervezéssel összhangban azon egyszerű szabály szerint is eljárhatunk, hogy a hegesztési varrat a_f gyökméretét (A.22.3.a ábra) a lemeztavastagság felére vesszük, azaz

- a gerenda övlemezét bekötő kétoldali sarokvarratra:

$$a_f \cong 0,5 t_{fb}; \quad (9a)$$

- a gerenda gerinclemezét bekötő kétoldali sarokvarratra:

$$a_w \cong 0,5 t_{wb}. \quad (9b)$$

E megoldás előnye, hogy mivel a hegesztési varratok felülete megegyezik az övlemezékével, a gerenda kapcsolat melletti keresztmetszetének a hajlítás, nyírás és normálterő együttesére való ellenőrzése egyben biztosítja a hegesztési varratok megfelelőségét is.

Nagyobb kapcsolatok esetén általában gazdaságosabb a hegesztési varratokat a gerenda ellenállása helyett a kapcsolat ellenállására tervezni.

A.22.3.2. Csavarátmérők

Túlnyúló homloklemezcsavarozott kapcsolatokban ahhoz, hogy az M_{Rd} tervezési nyomatéki ellenállás eléréséhez szükséges teljes képlékeny csavarerő-átrendeződés bekövetkezhesen, a csavar-lemez együtteseknek egy bizonyos minimális alakváltozási képességgel kell rendelkezniük. Az Eurocode 3 1.8. rész szerint a következő követelménynek kell teljesülnie:

$$\frac{d}{t_p} \geq 1,9 \sqrt{\frac{f_{yp}}{f_{ub}}} \quad (10a)$$

vagy

$$\frac{d}{t_{fc}} \geq 1,9 \sqrt{\frac{f_{yfc}}{f_{ub}}}, \quad (10b)$$

ahol

- d a csavar névleges átmérője;
- f_{yp} a homloklemez alapanyagának folyáshatára;
- f_{yfc} az oszlop övlemezének alapanyagának folyáshatára;
- f_{ub} a csavar anyagának szakítószilárdsága;
- t_p a homloklemez vagy az övbekötő szögacél szárának vastagsága;
- t_{fc} az oszlop övlemezének vastagsága.

A.22.3.3. Övbekötő szögacélos kapcsolatok

A.22.3.3.1. A gerincbekötő szögacél jelenlétének hatása

A következőkben olyan oszlop–gerenda kapcsolatokkal foglalkozunk, amelyekben a gerenda övlemezét az oszlop övlemezéhez övbekötő szögacélok kapcsolják, de amelyekben gerincbekötő szögacélok nem alkalmazunk. A gerincbekötő szögacélok a gyakorlatban akkor hagyhatók el, ha az alsó övlemez szögacélos bekötése képes a gerenda végén működő nyíróerő továbbítására. Ehhez a következő követelmények teljesülése szükséges:

- a gerenda vége és az oszlop övlemezének felülete közötti g hézag nem lehet nagyobb az övbekötő szögacél szárának t_a vastagságánál;

- az alsó övbekötő szögacélt az oszlophoz kapcsoló csavarok tervezési nyírási ellenállásának kellően nagyoknak kell lennie ahhoz, hogy a gerenda végén működő teljes nyíróerőt továbbítsák.

Ha a nyíróerő nagyobb, mint az alsó szögacélt bekötő csavarok nyírási ellenállása, akkor gerincbekötő szögacélokat kell alkalmazni. Egyes kivitelezők szerelési szempontok miatt mindig alkalmaznak egy vagy két gerincbekötő szögacélt.

Ha a gerincbekötő szögacélok a gerenda tengelyének közelében helyezkednek el és legfeljebb két, egy függőlegesben elhelyezkedő csavarral kapcsolódnak a gerenda gerinclemezéhez, akkor ezek a gerincbekötő szögacélok a teljes kapcsolat merevségét és nyomatéki ellenállását nem befolyásolják jelentősen, és a teljes kapcsolat jellemzőinek meghatározása során figyelmen kívül hagyhatók.

A csavarok számát és a gerincbekötő szögacél magasságát növelve fokozatosan növekszik a kapcsolat merevsége és nyomatéki ellenállása is, és ez a növekedés egy bizonyos határ után jelentős mértékűvé válik. A gerincbekötő szögacél hatásának figyelembevételével e helyütt nem foglalkozunk részletesebben.

A.22.3.3.2. A kapcsolatban bekövetkező megcsúszás

A csavar és a csavarlyuk átmérője közötti különbség, az úgynevezett lyukhézag következtében az öv- és gerincbekötő szögacélok, illetve az ezek rögzítésére szolgáló lemezek között bizonyos mértékű megcsúszás következhet be. Különösen az övbekötő szögacél és a gerenda övlemeze közötti megcsúszás érdekes számunkra, mert ennek következtében a gerenda végén az oszlophoz képest többletelfordulás alakul ki. A valóságban feltételezhető, hogy ez a megcsúszás a szerelés során, fokozatosan alakul ki, emiatt általában azt szokás feltételezni, hogy hatása a teljes szerkezet viselkedése szempontjából nem jelentős.

Ha a megcsúszás kialakulását nem kívánjuk megengedni, akkor feszített csavarokat kell alkalmazni, és a tervezést az Eurocode 3 (átdolgozott) J mellékletében a megcsúszásnak ellenálló csavarozott kötésekre megadott előírásoknak megfelelően kell elvégezni. Ilyen követelmény lehet például akkor, ha várható, hogy a szerkezet élettartama során a kapcsolatban pozitív és negatív hajlító nyomatékok is fellépnek.

A.22.3.4. A tervezési táblázatok tartalma

A tervezési táblázatokat az S235 acélból készült, szabványos melegen hengerelt acélszelvények kombinációinak széles skálájára készítettük el. Külön táblázat tartalmazza a 8.8 minőségű, külön a 10.9 minőségű csavarokkal kialakított kapcsolatokat. A homloklemez vastagságát úgy választottuk meg, hogy olyan kapcsolatokat kapjunk, amelyek nagy tartományban mutatnak félmerev viselkedést.

A táblázatok nyilván további esetek tárgyalására is kiterjeszthetők; különösen a nagyobb folyáshatárú acélból készült szelvények kapcsolatai volnának gyakorlati szempontból is fontosak.

A következőkben összefoglaljuk, hogy milyen esetekre vonatkoznak a táblázatok.

A. Homloklemez oszlop–gerenda kapcsolatok. 364 eset a következő paraméterekkel:

- túlnyúló homloklemez 8.8 csavarokkal;
- túlnyúló homloklemez 10.9 csavarokkal;
- nem túlnyúló, teljes magasságú homloklemez 8.8 csavarokkal;
- nem túlnyúló, teljes magasságú homloklemez 10.9 csavarokkal;
- nem túlnyúló, részleges magasságú homloklemez 8.8 csavarokkal;
- nem túlnyúló, részleges magasságú homloklemez 10.9 csavarokkal.

ELEM	SZELVÉNY	MÉRET
OSZLOP	HEB	140–600
GERENDA	IPE	220–600
HOMLOKLEMEZ	VASTAGSÁG	15, 20, 25 mm
CSAVAR	ÁTMÉRŐ	M16, M20, M24, M27

B. *Homloklemez gerendaillesztések. 36 eset a következő paraméterekkel:*

- nem túlnyúló, teljes magasságú homloklemez 8.8 csavarokkal;
- nem túlnyúló, teljes magasságú homloklemez 10.9 csavarokkal;
- nem túlnyúló, részleges magasságú homloklemez 8.8 csavarokkal;
- nem túlnyúló, részleges magasságú homloklemez 10.9 csavarokkal.

ELEM	SZELVÉNY	MÉRET
GERENDA	IPE	160–600
HOMLOKLEMEZ	VASTAGSÁG	15, 20, 25 mm
CSAVAR	ÁTMÉRŐ	M16, M20, M24, M27

C. *Övbekötő szögacélos oszlop–gerenda kapcsolatok. 310 eset a következő paraméterekkel:*

- 8.8 csavarok;
- 10.9 csavarok.

ELEM	SZELVÉNY	MÉRET
OSZLOP	HEB	140–600
GERENDA	IPE	220–600
ÖVBEKÖTŐ SZÖGACÉL	EGYENLŐTLEN SZÁRÚ	130.65.72–200.100.16
CSAVAR	ÁTMÉRŐ	M16, M20, M24, M27

A.22.4. Nyírási ellenállás

Csavarozott homloklemez kapcsolatokban a teljes nyíróerőt egymástól függetlenül fel kell tudnia venni:

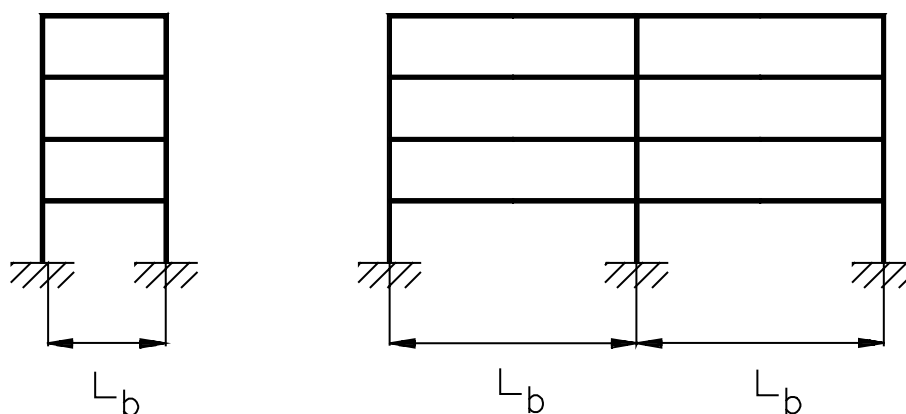
- a homloklemez a gerendához kapcsoló hegesztési varratoknak;
- a homloklemez az oszlophoz kapcsoló csavaroknak.

Nem feszített csavarok esetén a csavarok által a homloklemezről az oszlop övlemézére továbbított nyíróerő általában nem haladhatja meg a következő két érték összegét:

- azon csavarsorokban lévő csavarok teljes nyírási ellenállása, amelyekben nem tételezünk fel húzóerőt;
- azon csavarsorokban lévő csavarok teljes nyírási ellenállásának 30%-a, amelyekben feltételezünk húzóerőt.

A.22.5. Határhosszok a kapcsolatok merevség szerinti osztályozásához

A szokásos kialakítású keretszerkezetekben, mint például a *A.22.4. ábrán* látható keretben is, az L_b hossz az adott oszlopköz tengelytávolságát jelenti. A továbbiakban feltételezzük, hogy az egyes gerendák végén elhelyezkedő oszlop–gerenda kapcsolatok azonos jellemzőkkel (merevséggel és ellenállással) rendelkeznek.



A.22.4. ábra: Az L_b hossz értelmezése magasépítési keretszerkezetekben

A kapcsolatok merevség szerinti osztályozásához szükséges $L_{b,b}$ és $L_{b,u}$ határhosszok a merevített, illetve a merevítetlen keret esetéhez tartoznak, és a következők szerint veendőek fel.

- Merevített keretekben:
 - $L_{b,b,1} = 8EI_b / S_{j,ini}$ a merev és a félmerev kapcsolat közötti határ;
 - $L_{b,b,2} = 0,5EI_b / S_{j,ini}$ a félmerev és a csuklós kapcsolat közötti határ;
- Merevítetlen keretekben:
 - $L_{b,u,1} = 25EI_b / S_{j,ini}$ a merev és a félmerev kapcsolat közötti határ;
 - $L_{b,b,2} = 0,5EI_b / S_{j,ini}$ a félmerev és a csuklós kapcsolat közötti határ.

Gerendaillesztések esetén nem teszünk különbséget a merevített és a merevítetlen keret esete között, hanem csak egy L_b határhosszt használunk:

- $L_{b,1} = 25EI_b / S_{j,ini}$ a merev és a félmerev kapcsolat közötti határ;
- $L_{b,2} = 0,5EI_b / S_{j,ini}$ a félmerev és a csuklós kapcsolat közötti határ.

Ha a gerenda tényleges L_b támaszközét összevetjük ezekkel a határhosszokkal, akkor megállapíthatjuk, hogy a kapcsolatot a szerkezet analízise során csuklósnak, félmerevnek vagy merevnek kell-e tekinteni.

A tervezési táblázatok használata során a „Határhossz” oszlopban szereplő adat általában a következőt jelenti:

- *Az R betű* arra utal, hogy a kapcsolatot a gerenda várható felhasználási körülményei között minden esetben merevnek tekinthetjük, azaz a határhosszok a következő tartományon kívül esnek (h_b a gerendaszelvény magasságát jelenti):
 - legkisebb gyakorlatban előforduló hossz: $5h_b$ és 2,5 méter közül a nagyobb;
 - legnagyobb gyakorlatban előforduló hossz: $40h_b$.
- *Egy szám, majd az R betű*: A megadott szám a határhossz méterben, az R betű pedig arra utal, hogy a határhossz a félmerev és a merev kapcsolati osztály közötti határt jelenti. Ha a gerenda hosszabb, mint a határhossz, akkor a kapcsolat merevnek tekinthető; ha a gerenda rövidebb a határhossznál, akkor félmerevnek.

- Az *S* betű arra utal, hogy a kapcsolatot a gerenda várható felhasználási körülményei között minden esetben félmerevnek tekinthetjük, azaz a határhosszok a gyakorlati szempontból érdekes tartományon kívül esnek.
- *S* betű, majd egy szám: A megadott szám a határhossz méterben, az *S* betű pedig arra utal, hogy a határhossz a csuklós és a félmerev kapcsolati osztály közötti határt jelenti. Ha a gerenda hosszabb, mint a határhossz, akkor a kapcsolat félmerevnek tekinthető; ha a gerenda rövidebb a határhossznál, akkor csuklósnak.

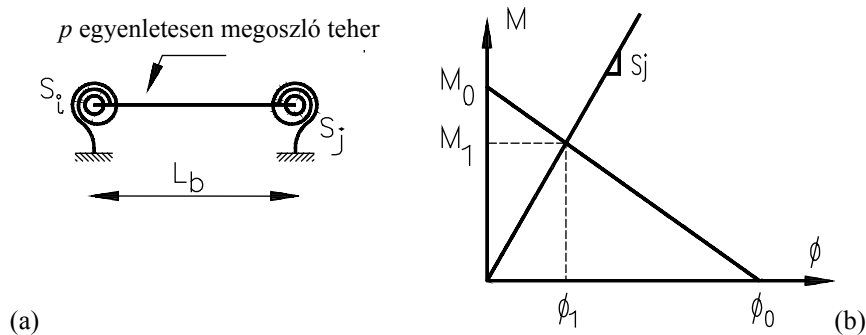
Példa. Tekintsünk egy túlnyúló homloklemez oszlop–gerenda kapcsolatot, amelyben 10.9-es minőségű, M16-os csavarokkal kapcsolunk össze egy HEB 240 szelvényű oszlopot és egy IPE220 szelvényű gerendát.

- Ha a kapcsolatot merevítetlen keretben használjuk, akkor a határhossz: $L_{bu} = 2,7$ m, ami azt jelenti, hogy 2,7 m-nél hosszabb gerenda esetén a kapcsolat merev, ennél rövidebb gerenda esetén pedig félmerev.
- Ha a kapcsolatot merevítetlen keretben használjuk, akkor a határhossz: $L_{bb} = 8,6$ m, ami azt jelenti, hogy 8,6 m-nél hosszabb gerenda esetén a kapcsolat merev, ennél rövidebb gerenda esetén pedig félmerev.

A.22.6. Kapcsolatok osztályozása merevség szerint. A határhossz fogalma

Általánosságban a kapcsolatok merevség szerinti osztályozása arra szolgál, hogy kimutassa, milyen jelentőséggel bír a kapcsolat elfordulási viselkedése a szerkezet mint egész viselkedése, különösen pedig a kapcsolatokban működő erők szempontjából. Konkrétabban szólva pedig megmondja, hogy indokolt-e egy kapcsolatot a keret egészének a viselkedését szem előtt tartva „csuklósnak” vagy „merevnek” tekinteni. Ily módon a kapcsolat osztályba sorolásával bizonyos esetekben kiváltható a kapcsolat viselkedésének modellezése. Ha azt találjuk, hogy egy adott kapcsolat a „félmerev” osztályba tartozik, az analízis során pedig „merevnek” tételeztük fel, akkor kétféleképpen járhatunk el. Választhatjuk azt a megoldást, hogy másik kapcsolatot keresünk, amely kellő merevséggel rendelkezik ahhoz, hogy az analízis során „merevnek” tekintsük; de eljárhatunk úgy is (és ez a körültekintőbb megoldás), hogy a kapcsolat modelljének figyelembevételével megismételjük a szerkezet analízisét.

A kapcsolat „merev”, „félmerev” vagy „csuklós” voltának eldöntéséhez bevezetjük a „határhossz” fogalmát, amelyet az A.22.5. ábra egy, két végén kapcsolattal ellátott gerenda esetére mutat be.



A.22.5. ábra: Oldalirányban megtámasztott gerenda:
(a) Különböző kapcsolat a gerenda két végén; (b) Egyforma kapcsolat a gerenda két végén. A (b) esetben: $M_0 = p L_b^2 / 12$; $\phi_0 = p L_b^3 / 24EI_b$

Az *ij* gerenda általános nem kilengő „teher–elmozdulás” egyenletei (A.22.5.a ábra), amennyiben az óramutató járásával megegyező irányú nyomatékokat és elfordulásokat tekintjük pozitívnak, a következőképpen írhatók:

$$\bar{M}_{ij} = M_{ij} + \frac{2EI_b}{L_b} (2\phi_i + \phi_j); \quad (1a)$$

$$\bar{M}_{ji} = M_{ji} + \frac{2EI_b}{L_b}(2\phi_j + \phi_i), \quad (1b)$$

ahol:

- \bar{M}_{ij} és \bar{M}_{ji} az i , illetve a j csomópontban kialakuló tényleges gerendavégi nyomaték;
- M_{ij} és M_{ji} a teljesen befogott gerenda végnyomatékai (azonos gerenda, azonos teher);
- ϕ_i és ϕ_j a tényleges gerendavégi elfordulások;
- E az acél rugalmassági modulusa;
- I_b és L_b a gerenda keresztmetszetének tehetetlenségi nyomatéka, illetve a gerenda támaszköze.

Ha a gerenda két végén lévő kapcsolat egyforma, akkor a következők írhatók:

$$M_{ij} = -M_{ji} = M_0; \quad (2a)$$

$$\bar{M}_{ij} = -\bar{M}_{ji} = M_1 \quad (2b)$$

$$\phi_i = -\phi_j = \phi_1 \quad (2c)$$

$$S_{j,i} = S_{j,j} = S_j; \quad (2d)$$

$$F_{j,i} = -F_{j,j} = F_j; \quad (2e)$$

$$M_{j,i} = -M_{j,j} = M_j. \quad (2f)$$

Ekkor az (1) egyenlet a következőképpen írható:

$$M_1 = M_0 + \frac{2EI_b}{L_b} \phi_1. \quad (3)$$

Az S_j merevségű rugó egyensúlyi egyenlete:

$$M_j = S_j F_j. \quad (4)$$

A rugó és a gerenda találkozási pontjánál az elfordulások kompatibilitása és az egyensúly a következő feltételeket jelenti:

$$F_j = F_1; \quad (5a)$$

$$M_1 + S_j \phi_1 = 0. \quad (5b)$$

Ha az (5a) és (5b) egyenletből kifejezzük F_1 -et, és behelyettesítjük az (3) összefüggésbe, akkor az egyenletesen megoszló teherrel terhelt gerenda bal oldali végére a következő egyenletet nyerjük:

$$M_1 = -\frac{pL_b^2}{12} \cdot \frac{S_j}{S_j + \frac{2EI_b}{L_b}}. \quad (6)$$

Az (6) egyenletből jól látszik, hogy milyen hatással van a kapcsolat merevsége a gerenda végén ébredő nyomatéokra. Ha a kapcsolat merevsége a gerendáéhoz képest igen nagy, akkor a gerenda majdnem úgy

viselkedik, mintha két végén befogott lenne; ha a kapcsolat merevsége a gerendához képest igen kicsi, akkor a gerenda majdnem úgy viselkedik, mintha két végén csuklós lenne. A gerenda viselkedése tehát alapvetően a kapcsolat és a gerenda egymáshoz viszonyított merevségétől függ.

Adott keresztmetszet esetén a gerenda merevsége csak hosszától függ. Tehát azt mondhatjuk, hogy ha a gerendaszelvény tehetetlenségi nyomatéka I_b , a gerendahossz L_b , a gerendavégi kapcsolatok merevsége pedig S_j , akkor

- ha L_b viszonylag nagy (a gerenda igen hajlékony), akkor a kapcsolat úgy viselkedik, mintha két végén befogott lenne ($M_l \rightarrow -p L_b^2 / 12$);
- ha L_b viszonylag kicsi (a gerenda igen merev), akkor a kapcsolat úgy viselkedik, mintha két végén csuklós lenne ($M_l \rightarrow 0$);

Ezen észrevételeket szem előtt tartva két jellemző hosszt (L_{b1} és L_{b2} , ahol $L_{b1} > L_{b2}$) definiálhatunk:

- az L_{b1} -et úgy, hogy
 - ha $L_b \geq L_{b1}$, akkor a kapcsolat merevnek tekinthető;
 - ha $L_b < L_{b1}$, akkor a kapcsolat félmerevnek tekintendő;
- az L_{b2} -t pedig úgy, hogy
 - ha $L_b > L_{b2}$, akkor a kapcsolat félmerevnek tekintendő;
 - ha $L_b \leq L_{b2}$, akkor a kapcsolat csuklósnak tekinthető.

Ha e hosszokat növekvő sorrendben tekintjük, akkor L_{b2} a „csuklós” és a „félmerev”, L_{b1} pedig a „félmerev” és a „merev” kapcsolati osztály közötti határt jelenti. E hosszok értéke a kapcsolat merevségétől és a gerenda keresztmetszeti jellemzőitől függ. Fontos kiemelni, hogy az Eurocode 3 1.8. rész szerint a kapcsolatok merevség szerinti osztályozása során a kezdeti, rugalmas merevségből kell kiindulni.