

# A.19. Acélszerkezetek kapcsolatai. Alapfogalmak

## A.19.1. Acélszerkezetek kapcsolatainak egységes tárgyalásmódja

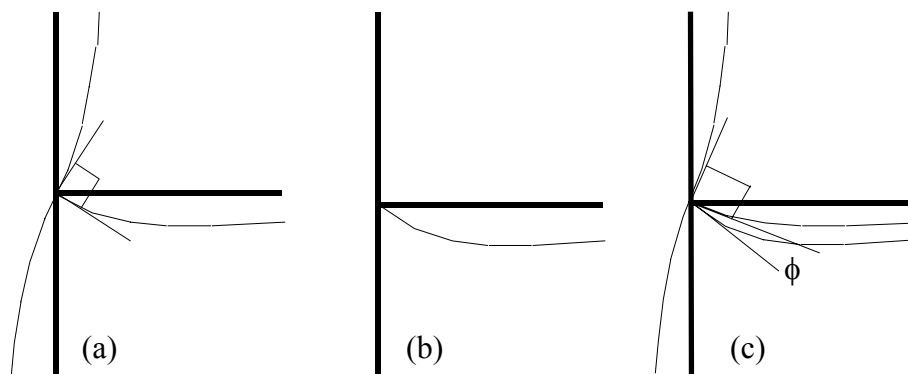
Közismert, hogy a valóságban létező kapcsolatok elfordulási viselkedése gyakran a két szélső eset, a merev és a csuklós kapcsolatnak megfelelő viselkedés közé esik.

A fejezetben a későbbiekben majd megismerjük, mi a különbség a *kapcsolat* és a *bekötés* fogalma között. Egyelőre olyan kapcsolatokkal foglalkozunk, amelyekben egy-egy oszlop és gerenda kapcsolódik egymáshoz.

Most tekintsük a kapcsolatnál ébredő hajlító nyomatékokat és az ezek következtében kialakuló elfordulásokat (A.19.1. ábra).

Ha a kapcsolatot alkotó összes alkotóelem megfelelően merev (ideális esetben végtelenül merev), akkor a kapcsolat *merev*, és a kapcsolatba befutó szerkezeti elemek végeinek elfordulása között nincs különbség (A.19.1.a ábra). A kapcsolat egyetlen, globális elfordulást szenved, amely megegyezik a keretanalízis céljára használt legtöbb szoftverben definiált csomóponti elfordulással.

Ha a kapcsolat egyáltalán nem rendelkezik merevséggel, akkor a gerenda a kapcsolatba befutó másik szerkezeti elemtől (elemektől) függetlenül mindig kéttámaszú tartó módjára fog viselkedni (A.19.1.b ábra). Ekkor a kapcsolat *csuklós*.



A.19.1. ábra: A kapcsolatok osztályozása merevség szerint:  
(a) merev kapcsolat; (b) csuklós kapcsolat; (c) félmerev kapcsolat

Közbelső esetben (nem zérus és nem végtelen nagy merevség) az átadódó nyomaték következtében egy  $\phi$  eltérés tapasztalható a kapcsolatba befutó két szerkezeti elem abszolút elfordulása között (A.19.1.c ábra). A kapcsolat ekkor *félmerev*.

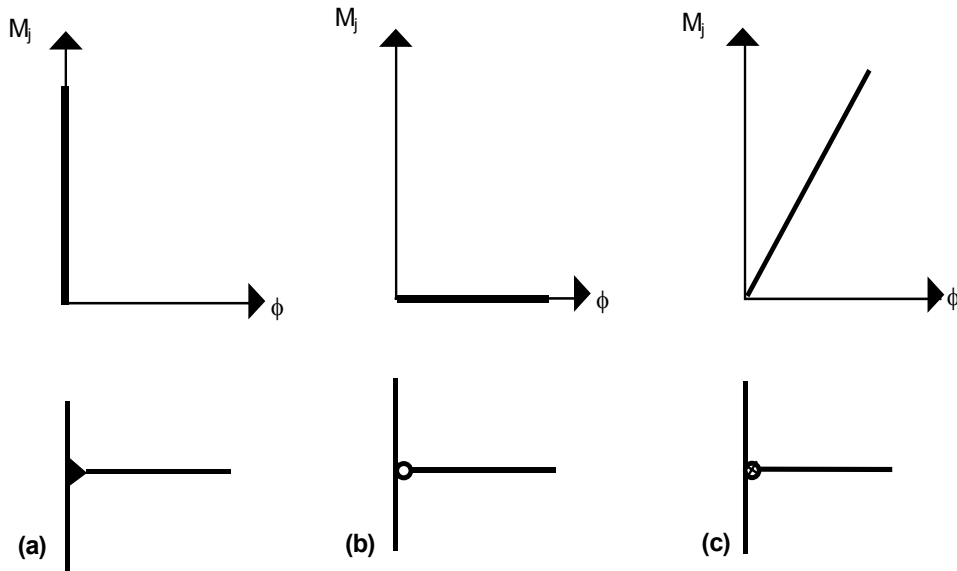
A félmerev kapcsolatot a keretszerkezet viselkedése szempontjából legegyszerűbben úgy vehetjük figyelembe, hogy a kapcsolatba befutó két szerkezeti elem végét képzeletben csavarrugóval kapcsoljuk össze. E rugó  $S$  elfordulási merevsége fogja meghatározni az  $M_j$  átadódó nyomaték és a kapcsolt elemek végeinek abszolút elfordulása közötti  $\phi$  különbség viszonyát.

Ha ez az  $S$  elfordulási merevség zérus, vagy ha viszonylag kicsiny, akkor a kapcsolatot csuklósnak tekintjük. Ezzel szemben, ha az  $S$  elfordulási képesség végtelen nagy, vagy legalábbis viszonylag nagy, akkor a kapcsolatot merevnek tekintjük. Valamennyi közbelső esetben a kapcsolat a félmerev kapcsolatok osztályába tartozik.

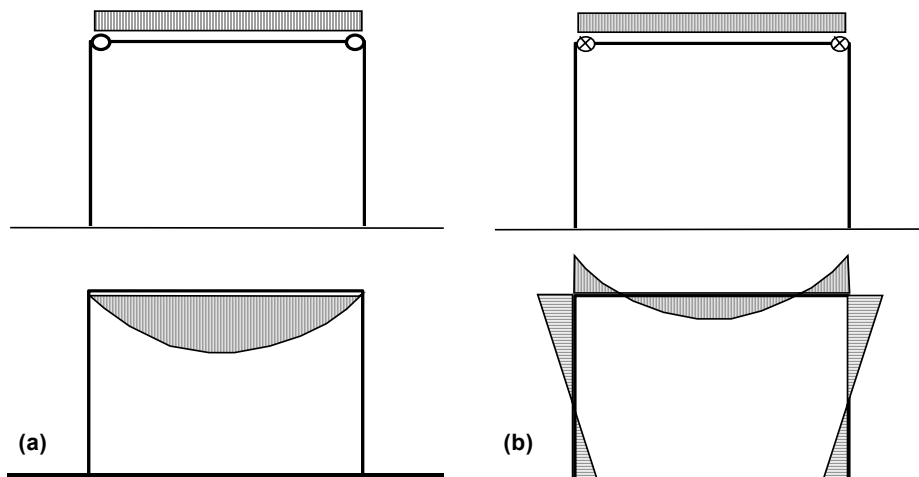
Félmerev kapcsolatok esetén a külső terhek hatására mind  $M_j$  hajlító nyomatékok, mind pedig  $\phi$  relatív elfordulások kialakulnak. A nyomaték és a relatív elfordulás közötti viszonyt a kapcsolat jellemzőitől függő

fizikai egyenlet írja le. Ilyen fizikai egyenletet szemléltet a *A.19.2. ábra*, amelyen az egyszerűség kedvéért azt feltételezzük, hogy a keretanalízist lineárisan rugalmas számítással hajtjuk végre.

A szerkezet analízise során annak következtében, hogy a merev vagy a csuklós kapcsolatok helyett félmerev kapcsolatokat alkalmazunk, az alakváltozások mellett az igénybevételek eloszlása is módosul, éspedig a teljes szerkezetre kiterjedően.



*A.19.2. ábra: A kapcsolatok modellezése (rugalmas analízishez): (a) merev kapcsolat:  $\phi = 0$ ; (b) csuklós kapcsolat:  $M_j = 0$ ; (c) félmerev kapcsolat:  $\phi \neq 0$  és  $M_j \neq 0$*



*A.19.3. ábra: Egyszerű portálkeret rugalmas nyomatéki ábrái: (a) csuklós kapcsolatok esetén; (b) félmerev kapcsolatok esetén*

Példaként a *A.19.3. ábra* egy egyenletesen megoszló teherrel terhelt befogott portálkeret nyomatéki ábráját mutatja csuklós, illetve félmerev kapcsolatok esetére. Hasonló megfontolások érvényesek a lehajlásokra is.

## A.19.2. A kapcsolatok egységes tárgyalásmódjának előnyei

Mind az Eurocode 3 előírásai, mind pedig az az igény, hogy a tartószerkezetek modellje a lehető leginkább valóságos legyen, azt követelik meg, hogy a félmerev viselkedést szükség szerint mindig figyelembe vegyék.

A legtöbb tervezőmérnök itt valószínűleg megállna, és nem venné a fáradságot, hogy a szükséges többletmunkát elvégezze. Az új kihívásra nyilván egyszerűen úgy is lehet válaszolni, hogy a kapcsolatokat továbbra is merevként vagy csuklóként tervezzük. E feltételezés jogosságát azonban a tervezési folyamat végén ellenőrizni kell, és ráadásul az így megtervezett kapcsolatok sok esetben jóval gazdaságosabb szerkezetet eredményeznek, mint a félmerev megoldás.

Meg kell jegyezni, hogy a merev és a csuklós kapcsolat fogalma az Eurocode 3-ban is létezik. A szabvány elfogadja, hogy az a kapcsolat, amely *majdnem merev* vagy *majdnem csuklós*, a tervezés során tekinthető *ideálisan merev* vagy *ideálisan csuklós* kapcsolatnak. Azt pedig, hogy egy kapcsolat tekinthető-e merevnek vagy csuklósnak, a kapcsolat és a gerenda merevségének egymáshoz való viszonya határozza meg (ahol a gerendamerevség a gerenda-keresztmetszet hajlítási merevségétől és hosszától függ).

Érdemes azonban feladni ezt a „mindent vagy semmit” elvet, és végiggondolni, milyen előnyökkel járhat a félmerev kapcsolatok alkalmazása. Kétféle ilyen előny képzelhető el:

1. A tervező úgy dönt, hogy a kapcsolatokat – néha tévesen ugyan, de – mindig merevnek vagy csuklósnak tételezi fel. Az Eurocode 3 azonban előírja, hogy mindig meg kell vizsgálni a kapcsolatok tényleges viselkedésének a szerkezet mint egész viselkedésére gyakorolt hatását, vagyis azt, hogy az igénybevételek és az alakváltozások meghatározása megfelelő pontosságú volt-e. Ha a kapcsolatok kialakításáról a tervezési folyamat végén döntünk, akkor nehézségekbe ütközhetünk, hiszen adott esetben előfordulhat, hogy a megfelelő kialakítás csak fokozatos közelítéssel határozható meg. A következő helyzetek fordulhatnak elő.
  - Ahhoz, hogy a kapcsolat merevnek legyen feltételezhető, gyakran alkalmaznak merevítő bordákat az oszlop gerinclemezen. Az Eurocode 3 eljárása szerint most megvizsgálható, valóban szükség van-e ezekre a merevítő bordákra ahhoz, hogy a kapcsolat megfelelő merevségű és ellenállású legyen. Vannak olyan gyakorlati esetek, amikor nincs szükség e bordákra, amikor tehát olcsóbb megoldás is megfelelő.
  - Ha az eredetileg csuklósnak feltételezett kapcsolatokról a tervezés egy későbbi szakaszában kiderül, hogy viszonylag jelentős merevséggel rendelkeznek (azaz félmerevek), akkor előfordulhat, hogy lehetőség van a gerendaméret csökkentésére. Ez egyszerűen azért van így, mert a kapcsolatokban fellépő nyomatékok következtében csökken a gerendák mezőnyomatéka.
2. A tervező úgy dönt, hogy a keresztmetszetek jellemzői mellett már a tervezés kezdeti szakaszán figyelembe veszi a kapcsolatok viselkedését leíró jellemzőket is. Egyszerűen megmutatható, hogy ez az újfajta hozzáállás egyáltalán nem mond ellent annak a sok helyütt bevett gyakorlatnak, hogy a tervezés során felmerülő feladatokat a szerkezet tervezésért, illetve a kapcsolat tervezéséért felelős személyek vagy szervezetek megosztják egymás között. E két feladatot az adott ország szokásainak megfelelően gyakran különböző személyek, sőt sok esetben különböző vállalatok végzik. Az újfajta megközelítésmód, vagyis az az eljárás, amelynek során a kapcsolatok viselkedését már a tervezési folyamat korai szakaszában figyelembe vesszük, csak akkor alkalmazható hatékonyan, ha a tervezési folyamat szereplői megértik egyrészt a kapcsolatok költsége és bonyolultsága, másrészt pedig a szerkezeti viselkedés optimalizálása és a kapcsolati viselkedés valóságosabb figyelembevétele közötti viszonyt. Illusztrációként tekintsük a következő két példát:
  - Mint korábban már láttuk, bizonyos esetekben elhagyhatók az oszlop gerinclemezeit merevítő bordák, és ezáltal csökkenthetők a költségek. Annak ellenére, hogy csökken a merevsége és várhatóan az ellenállása is, a kapcsolat továbbra is merevnek tekinthető, és esetleg kimutatható az is, hogy megfelelő ellenállással rendelkezik. Gyakran fordul elő ez az eset ipari csarnokok egyenes portálkereteiben alkalmazott kiékelte keretsarkok esetén, de nem ez az egyetlen példa.
  - Általánosabban, többnyire érdemes oly módon megválasztani a kapcsolat merevségét, hogy a legkedvezőbb viszonyt érjük el a kapcsolat költsége és a gerendák és oszlopok költsége között.

Például merevített keretekben a félmerev kapcsolatok (amelyek valószínűleg drágábbak a csuklós kapcsolatnál) alkalmazása lehetővé teszi a gerendaméret csökkentését. Merevítetlen keretekben a merev kapcsolatok helyett alkalmazott, kevésbé költséges félmerev kapcsolatok nagyobb méretű gerendák – és gyakran oszlopok – tervezését teszik szükségessé.

A feladat természetesen tűnhet nehéznek – ezért jelenleg az a cél, hogy néhány hasznos tudnivalót megismerjünk. A gondolatmenet valahogy így foglalható röviden össze: „*Ha egyszer nem lehet megkerülni, akkor legalább húzzunk hasznot belőle*”.

Ennek megfelelően az Eurocode 3 most választás elé állítja a tervezőmérnököt: vagy *tradicionalista hozzáállást* tanúsít, amellyel sok esetben valami nyerhető – vagy pedig *innovatív*, amelynek során több gazdaságossági előnyre lehet számítani.

Fontos kiemelni, hogy igen nagy a hasonlóság a szerkezeti elemek keresztmetszeteinek osztályozása és a kapcsolatok osztályozása között. A következő szakaszban ezt tekintjük át.

### A.19.3. Párhuzam a szerkezeti elemek és a kapcsolatok viselkedése között

A szerkezeti elemek viselkedése leírható egy közepén koncentrált erővel terhelt kéttámaszú tartó  $M-\phi$  görbéjével, ahol  $M$  a támaszköz közepén ébredő nyomaték,  $\phi$  pedig a gerenda két végén kialakuló elfordulás összege. A kapcsolatok viselkedését hasonló  $M-\phi$  görbe segítségével adhatjuk meg, ahol azonban  $M = M_j$  a kapcsolat által átadott hajlító nyomaték,  $\phi$  pedig a kapcsolatba befutó elem és a kapcsolat többi része közötti relatív elfordulás. Mint a *A.19.4. ábrán* látható, a két görbe alakja hasonló.

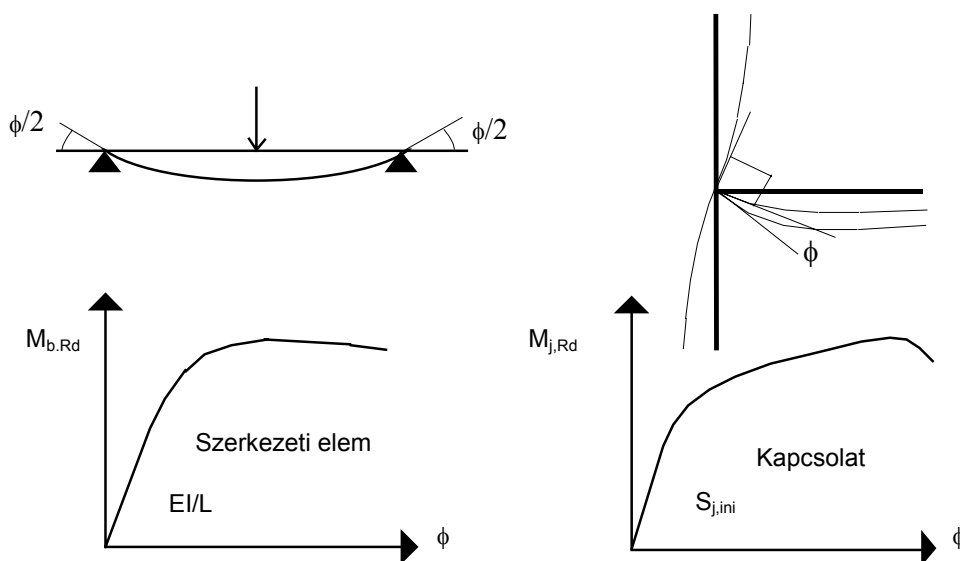
A szerkezeti elem  $EI/L$  hajlítási merevsége és  $M_{b,Rd}$  tervezési ellenállása a kapcsolat szintjén az  $S_{j,ini}$  kezdeti merevségnek és az  $M_{j,Rd}$  tervezési ellenállásnak felel meg.

Az Eurocode 3 előírásainak megfelelően a szerkezeti elemek keresztmetszeteit négy osztályba soroljuk aszerint, hogy a teljesen vagy részben nyomófeszültségekkel igénybe vett keresztmetszet milyen mértékben ellenálló a lemezhorpadással szemben, illetve hogy a lemezhorpadás milyen mértékben korlátozza a képlékeny igénybevétel-, illetve feszültségátrendeződés folyamatát. A keresztmetszetek ellenállása eszerint a teljes képlékeny ellenállástól (1. és 2. osztály) a rugalmas ellenállásig (3. osztály), illetve a rugalmas ellenállás egy csökkentett értékéig (4. osztály) terjedhet. A keresztmetszet osztályba sorolása a következő két feltételezésen alapszik:

- a szerkezet analízise során feltételezett ideális viselkedéstől (ti. 1. osztályú keresztmetszet esetén lehetőség van képlékeny csukló kialakulására és a kereten belül az igénybevételek átrendeződésére, miközben a terhek tervezési értékükig vagy még tovább növekednek);
- a keresztmetszet ellenőrzéséhez szükséges feltételezett viselkedéstől (ti. a 4. osztályú keresztmetszet ellenállását a teljes keresztmetszet jellemzői helyett a figyelembe veendő hatékony keresztmetszet alapján számítjuk).

Az Eurocode 3 szerint a keresztmetszet osztályát a keresztmetszetet alkotó nyomott lemezelemek szélesség–vastagság arányai szabják meg. Az alakváltozási képességet közvetlenül az határozza meg, hogy a szerkezetben mekkora elfordulás következik be, miközben a keresztmetszetben a nyomaték a tervezési nyomatéki ellenállásnak megfelelő értékkel egyezik meg. Kapcsolatok esetén az *elfordulási képesség* fogalma ugyanazt jelenti, mint keresztmetszetek esetén az *alakváltozási képesség* fogalma.

Hasonlóan a szerkezeti elemek keresztmetszeteinek esetéhez, a kapcsolatokat is osztályozzuk duktilitásuk vagy *elfordulási képességük* alapján. Ez az osztályozás arra ad iránymutatást, hogy a kapcsolat mennyire képes ellenállni az esetleges lemezhorpadási, illetve az ez esetben gyakrabban mértékadó ridegtörési (különösen pedig a csavarok szakadásával összefüggő) jelenségekkel szemben, és ennek megfelelően a szerkezet analízise milyen módszerrel végezhető el.



A.19.4. ábra: A szerkezeti elem és a kapcsolat  $M-\phi$  görbéje

Gyakorlati szempontból a kapcsolatok ezen osztályozása azért érdekes, mert ily módon ellenőrizhető, hogy alkalmazható-e a rugalmas-képlékeny analízis egészen a teljes képlékeny mechanizmus megjelenéséig, ami nyilván feltételezi, hogy egy vagy több kapcsolatban is kialakulnak képlékeny csuklók.

Mint később látni fogjuk, a kapcsolatok duktilitás szerinti osztályba sorolása – bár az Eurocode 3 erre kifejezett iránymutatást nem ad – elvégezhető a kapcsolat alkotóelemeinek (csavarok, hegesztési varratok, lemezek stb.) geometriai és mechanikai jellemzői alapján.

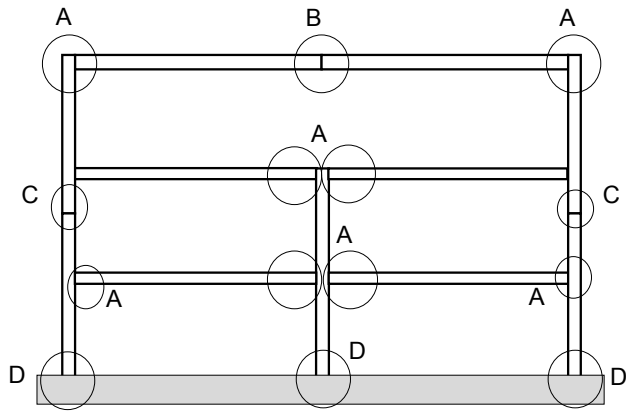
A kapcsolatok tehát osztályozhatók **merevségük** és **duktilitásuk** szerint. A kapcsolatokat ezenkívül **ellenállásuk** alapján is osztályozhatjuk.

Ellenállás (szilárdság) szerint a kapcsolat lehet *teljes szilárdságú* vagy *részleges szilárdságú* annak megfelelően, hogy ellenállása hogyan viszonyul a kapcsolatba befutó szerkezeti elemek ellenállásához. Rugalmas tervezés esetén nyilvánvaló, hogyan kell alkalmazni a részleges szilárdságú kapcsolatokat. Képlékeny tervezés esetén az ellenállás szerinti osztályozást elsősorban azért kell elvégezni, hogy kiderüljön, vajon a szerkezet analízise során számítani kell-e arra, hogy a kapcsolatban képlékeny csukló fog kialakulni. A külső terheknek a képlékeny csukló kialakulásához szükséges teherszint fölé való növekedése csak akkor engedhető meg, ha a részleges szilárdságú kapcsolat a képlékeny nyomatéki ellenállásának elérése után képes csuklóként viselkedni. A kapcsolatnak tehát elegendő duktilitással is rendelkeznie kell.

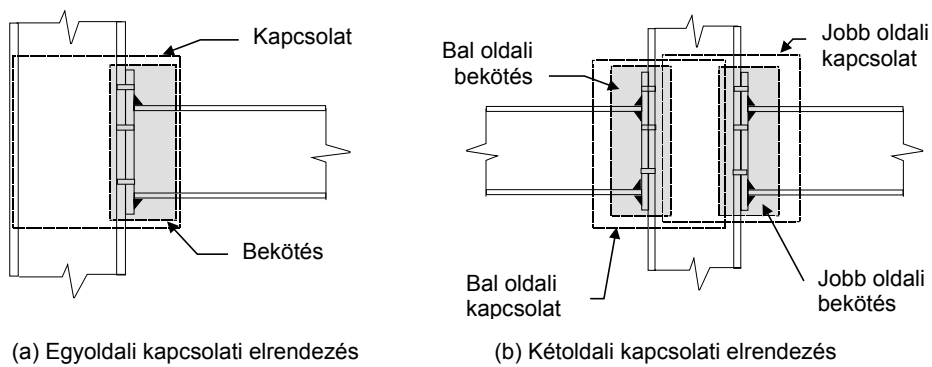
#### A.19.4. A kapcsolati elrendezés, a kapcsolat és a bekötés fogalma

A magasépítési keretszerkezetek kapcsolatok révén összekapcsolt, általában I vagy H szelvényű gerendákból és oszlopokból állnak. Ezek a kapcsolatok lehetnek két gerenda, két oszlop, egy gerenda és egy oszlop, illetve egy oszlop és az alapozás között (A.19.6. ábra).

A *bekötés* fogalma azon fizikai alkotóelemek összességét jelenti, amelyek a kapcsolatba becsatlakozó elemeket mechanikusan összekötik. Úgy tekintjük, hogy a bekötés ott helyezkedik el, ahol a kötőelemekben az erők fellépnek, például főirányú oszlop–gerenda kapcsolatokban a gerendavég és az oszlop találkozási felületén. Ha a bekötést a kapcsolatba befutó szerkezeti elemeknek azon zónáival együtt tekintjük, amelyek erőjátéka a bekötés jelenléte miatt módosul, akkor már *kapcsolatról* beszélünk (A.19.7.a ábra).



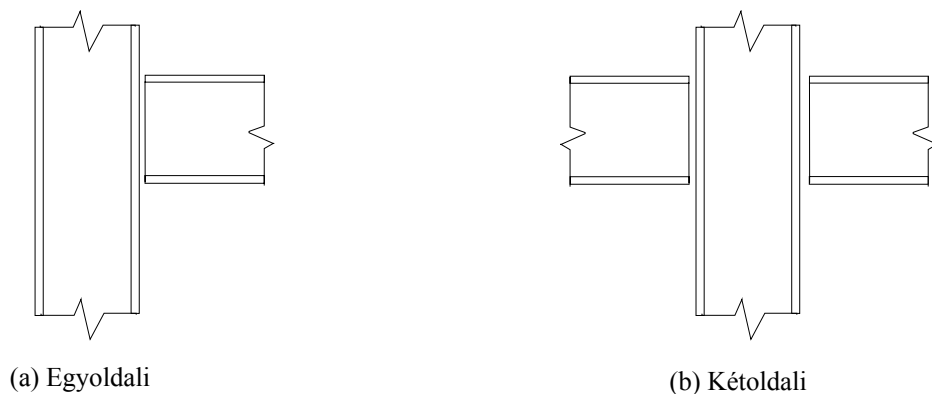
A.19.6. ábra: Magasépítési keretszerkezetek különböző kapcsolatai



A.19.7. ábra: Kapcsolatok és bekötések

Az egy síkban összekapcsolt elemek számától függően beszélünk egyoldali vagy kétoldali kapcsolati elrendezésről (A.19.8. ábra). A kétoldali kapcsolati elrendezésben (A.19.8.b ábra) két kapcsolatot (bal oldali és jobb oldali) különböztetünk meg (A.19.7.b ábra).

A A.19.7. és A.19.8. ábrán illusztrált fogalom meghatározások más kapcsolati elrendezésekre és kapcsolattípusokra is érvényesek.



A.19.8. ábra: Síkbeli kapcsolati elrendezések

Mint már láttuk, a hagyományosan merevnek vagy csuklósnak tekintett és ilyen módon kialakított kapcsolatok is rendelkeznek a valóságban valamekkora véges merevséggel, illetve bennük véges relatív elfordulások alakulnak

ki, aminek forrása a kapcsolatot alkotó alkotóelemek merevsége, illetve rugalmassága. A következő szakaszban áttekintjük, melyek azok a legfontosabb források, amelyek hozzájárulnak a kapcsolatok alakváltozásaihoz.

## A.19.5. A kapcsolatok alakváltozásainak forrásai

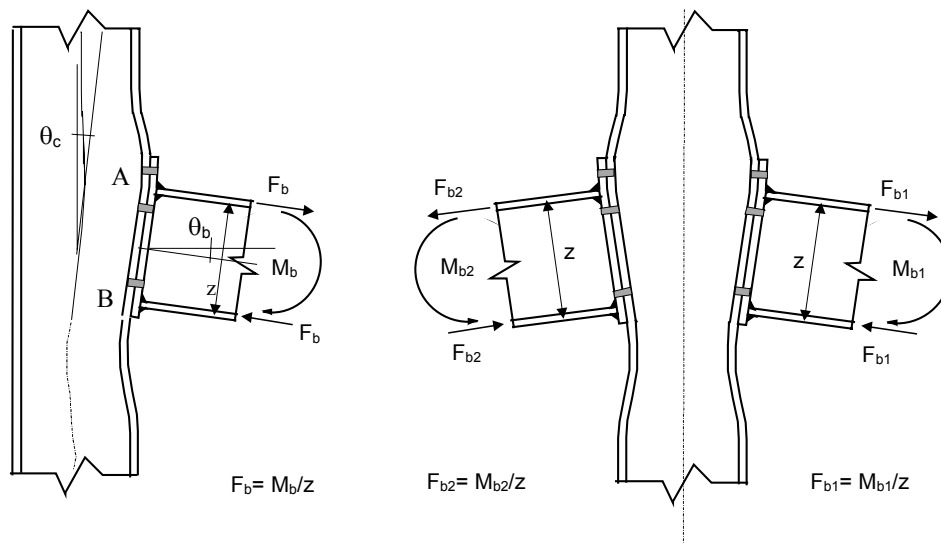
A kapcsolatok elfordulási viselkedése befolyásolhatja a keretek helyi, illetve globális válaszát. A következőkben áttekintjük, hogy az oszlop–gerenda kapcsolatokban, az illesztésekben és az oszloptalpkapcsolatokban az elfordulásoknak milyen alakváltozási forrásai vannak.

Érdemes megemlíteni, hogy a kapcsolat elfordulási merevségét, ellenállását és elfordulási képességét a kapcsolatra működő nyíróerő, illetve normálerő is befolyásolhatja. Ezek a nyíró- és normálerők ugyan nyilvánvalóan hozzájárulnak a kapcsolatok nyíró- és normálerő-irányú alakváltozásaihoz, azonban közismert, hogy hatásuk a keret egészének viselkedésére nem jelentős, ezért a kapcsolat nyíró- és normálerő-irányú alakváltozásait az elfordulási viselkedés vizsgálatakor elhanyagoljuk.

### A.19.5.1. Oszlop–gerenda kapcsolatok

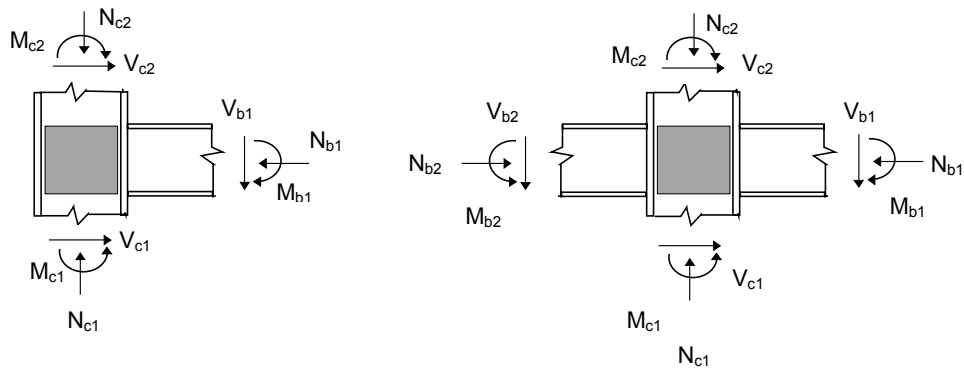
#### Főirányú kapcsolatok

A főirányú oszlop–gerenda kapcsolatokban az alakváltozások különböző forrásokból származnak. Az egyoldali kapcsolat (A.19.9.a és A.19.10.a ábra) esetére ezek a következők:



A.19.9. ábra: A kapcsolat elfordulásainak forrásai

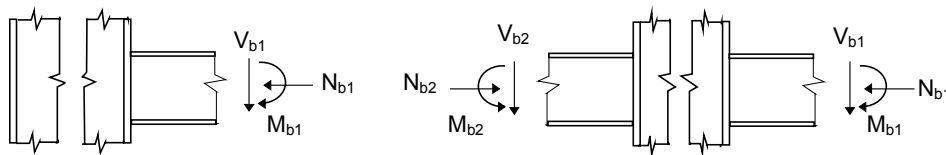
- *A bekötés alakváltozásai.* Ide tartoznak a bekötést alkotó egyedi elemek (oszlop övlemeze, csavarok, homloklemez vagy szögacélok stb.) alakváltozásai, valamint az oszlop gerinclemezében az erőbevezetés hatására fellépő, a gerinclemezben működő  $F_b$  nyomó- és húzóerők miatti rövidülések és nyúlások következtében kialakuló alakváltozások. Az  $F_b$  erők alkotta erőpár statikailag egyenértékű a gerenda végéről átadódó  $M_b$  hajlítónyomatékkal. Ezen alakváltozások következtében egy  $\phi_c$  relatív elfordulás alakul ki a gerenda és az oszlop hossz tengelye között. Ez az elfordulás, amely a 9.a ábra jelöléseivel  $\theta_b - \theta_c$  értékkel egyenlő, elsősorban az AB vonal mentén alakul ki, és meghatározza az  $M_b - \phi_c$  hajlítási alakváltozási görbét.
- *Az oszlop gerincpaneljének nyírási alakváltozása,* amely a gerincpanelre működő  $V_{wp}$  nyíróerő következménye. Ennek következtében a gerenda és az oszlop tengelye között kialakul egy  $\gamma$  relatív elfordulás, amelynek segítségével definiálható a  $V_{wp} - \gamma$  nyírási alakváltozási görbe.



Kapcsolati elrendezések



Gerincpanelek



Bekötések

(a) Egyoldali kapcsolat

(b) Kétoldali kapcsolat

A.19.10. ábra: A gerincpanel és a bekötések terhei

A bekötés alakváltozási görbáját adott esetben természetesen befolyásolhatja a kapcsolatba befutó gerenda végén átadódó normál- és nyíróerő.

A kétoldali kapcsolati elrendezések (A.19.9.b és A.19.10.b ábra) hasonló módon kezelhetők. Ezekben a kapcsolati elrendezésekben két bekötés és egy közös gerincpanel alkot két kapcsolatot, és ezek viselkedése alapján kell meghatározni az alakváltozásokat.

Összefoglalva tehát, a főirányú oszlop–gerenda kapcsolatokban az alakváltozások következő legfontosabb forrásait kell figyelembe venni:

- *egyoldali kapcsolati elrendezésben:*
  - a bekötés  $M_b-\phi_c$  hajlítási alakváltozási viselkedését;
  - az oszlop gerincpaneljének  $V_{wp}-\gamma$  nyírési alakváltozási viselkedését;
- *kétoldali kapcsolati elrendezésben:*
  - a bal oldali bekötés  $M_{b1}-\phi_{c1}$  hajlítási alakváltozási viselkedését;
  - a jobb oldali bekötés  $M_{b2}-\phi_{c2}$  hajlítási alakváltozási viselkedését;



- az oszlop gerincpaneljének  $V_{wp}-\gamma$  nyírási alakváltozási viselkedését.

A bekötés (bekötést alkotó elemek + erőbevezetés) alakváltozásai csak a gerendavégen átadódó  $M_b$  nyomatékkal egyenértékű, a gerenda övlemezeinél feltételezett erőpárból származnak. Az oszlop gerincpaneljének nyírási alakváltozásai ezen egyenlő nagyságú, de ellentétes értelmű erők, valamint az oszlopban a gerenda övlemezeinek szintjén működő nyíróerők együttes hatásából származnak. A  $V_{wp}$  nyíróerő a gerincpanel egyensúlyi egyenleteiből számítható (az előjel-konvenciót a *A.19.10. ábra* szemlélteti):

$$V_n = \frac{M_{b1} + M_{b2}}{h_b} - \frac{V_{c1} + V_{c2}}{2}. \quad (1)$$

Ugyanezt a nyíróerőt néha így is szokás írni:

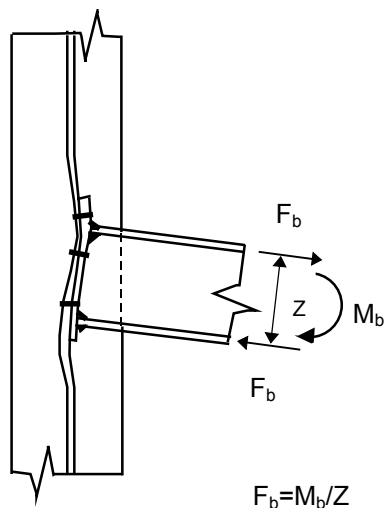
$$V_n = \frac{M_{b1} + M_{b2}}{h_b}, \quad (2)$$

ez azonban csupán az (1) kifejezés durva és a biztonság javára történő közelítése.

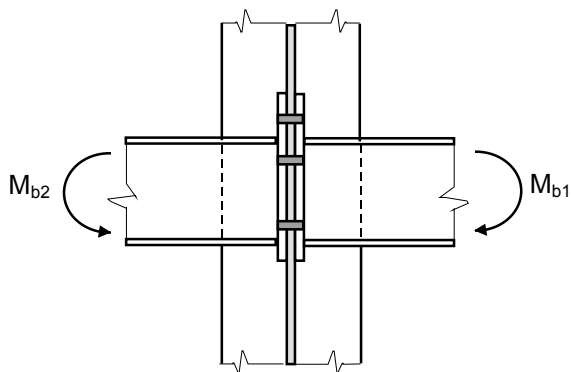
Az előző képletekben  $z$  a bekötésekben átadódó húzó-, illetve nyomóerők eredőjének távolsága (erőkar). A  $z$  mennyiség felvételére részletes útmutatást az „A nyomatéknak ellenálló kapcsolatok viselkedésének jellemzése” című fejezet ad.

### Mellékirányú kapcsolatok

Az előzőekhez hasonlóan mellékirányú kapcsolatok esetén is meg kell különböztetni a *gerincpanelt* és a *bekötést* (*A.19.11. ábra*). Miközben a bekötés a főirányú kapcsolathoz hasonló módon hajlítási alakváltozásokat szenved, az oszlop gerinclemeze úgynevezett síkjára merőleges alakváltozásokat végez. Ebben az esetben azonban nem alakul ki az erőbevezetés miatt fellépő alakváltozás.



*A.19.11. ábra: A mellékirányú kapcsolat alakváltozásai*



A.19.12. ábra: Kétoldali mellékirányú kapcsolat terhei

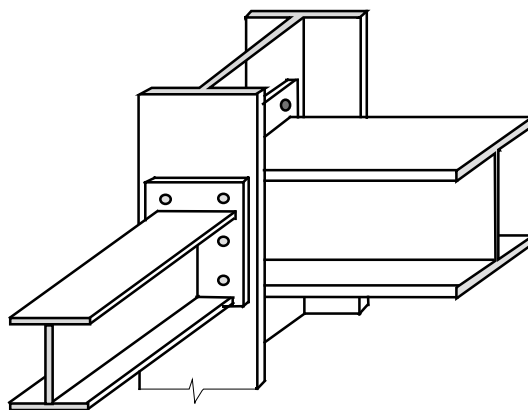
Kétoldali kapcsolati elrendezés esetén az oszlop gerinclemezőnek síkjára merőleges alakváltozásai a jobb és a bal oldali bekötésekre működő hajlító nyomatékoktól függnnek (A.19.12. ábra):

$$\Delta M_b = M_{b1} - M_{b2}. \quad (3)$$

Egyoldali kapcsolati elrendezés (A.19.11. ábra) esetén  $\Delta M_b$  helyére  $M_b$  írandó.

#### **Fő- és mellékirányú bekötésekkel egyaránt rendelkező kapcsolatok**

A térbeli kapcsolatot (A.19.13. ábra) az jellemzi, hogy az oszlopnak mind az övlemezőéhez (övlemezőihez), mind a gerinclemezőéhez kapcsolódik gerenda. Ilyenkor az oszlop gerinclemezőjében egyszerre alakulnak ki nyírási és síkjára merőleges alakváltozások.



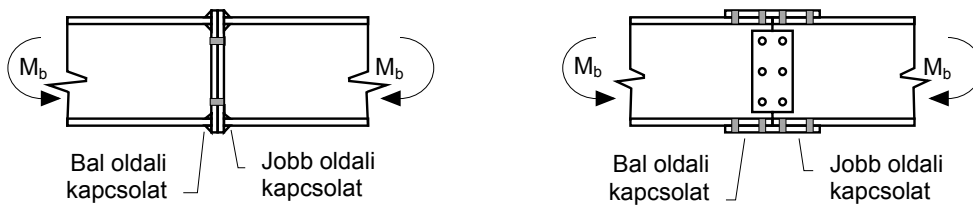
A.19.13. ábra: Példa térbeli kapcsolatra

A gerinclemező terhe tehát részint az (1) vagy (2) egyenlet által meghatározott nyíróerő, részint pedig a (3) egyenlet szerinti síkjára merőleges erő.

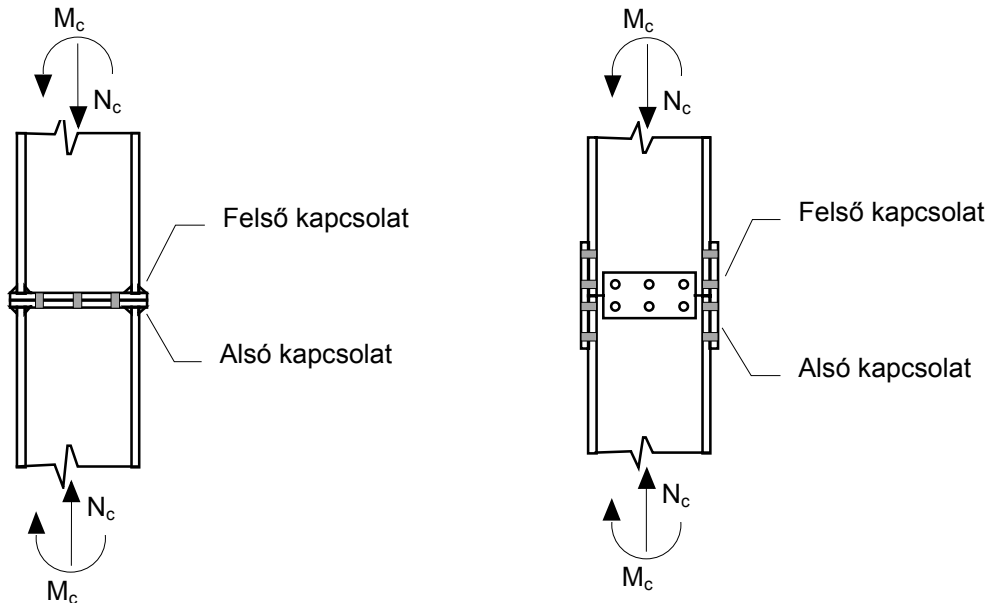
A A.19.13. ábrán vázolt kapcsolati elrendezésben csak két gerenda szerepel; a gyakorlatban előfordulhatnak olyan esetek is, amikor három vagy négy gerenda fut be egyetlen kapcsolati elrendezésbe.

#### A.19.5.2. Gerenda- és oszlopillesztések

A gerendaillesztés (A.19.14. ábra), illetve oszlopillesztés (A.19.15. ábra) esetén kevesebb forrásból származnak az alakváltozások, mint az oszlop–gerenda kapcsolatokban, mert ez esetben a kapcsolatok csak bekötésből állnak. Az alakváltozási viselkedést maga az  $M_b-\phi_c$  görbe határozza meg.



A.19.14. ábra: Gerendaillesztés alakváltozásai



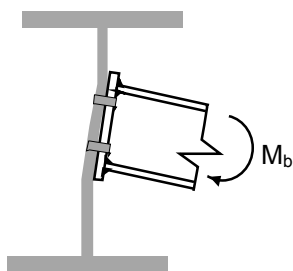
A.19.15. ábra: Oszlopilesztés alakváltozásai

Az egyetlen  $M_b-\phi_c$  görbe megadja a teljes kapcsolati elrendezés alakváltozási viselkedését, azaz a két kapcsolatét együtt (gerendaillesztés esetén a bal oldali és a jobb oldali kapcsolatét, oszlopilesztés esetén a felső és az alsó kapcsolatét).

Az elsődlegesen nyomóerővel terhelt oszlopilesztésekben a normálerő jelentős mértékben befolyásolja a kapcsolat mechanikai jellemzőit, azaz elfordulási merevségét, ellenállását és elfordulási képességét. A normálirányú alakváltozások azonban csak kis mértékben befolyásolják a keret egészének viselkedését, ezért ebből a szempontból elhanyagoljuk őket.

### A.19.5.3. Gerenda–gerenda kapcsolatok

A gerenda–gerenda kapcsolatok (A.19.16. ábra) alakváltozási viselkedése nagymértékben hasonlít a mellékirányú oszlop–gerenda kapcsolatok viselkedésére. A terhek és az alakváltozások forrásai megegyeznek a mellékirányú kapcsolatok kapcsán elmondottakkal.

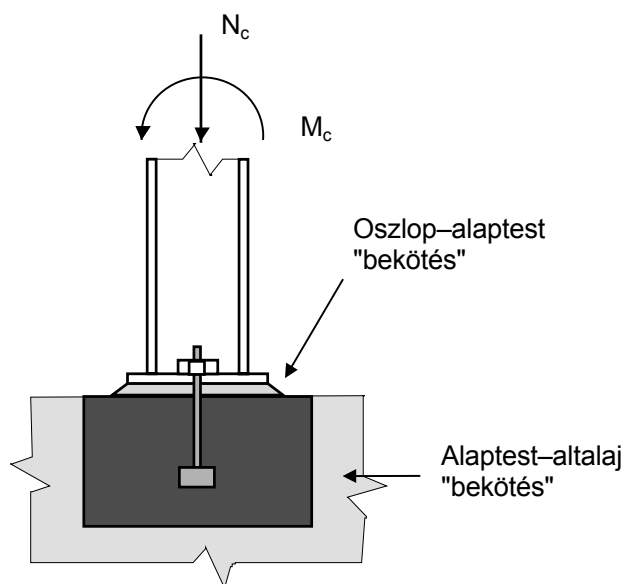


A.19.16. ábra: Gerenda-gerenda kapcsolat alakváltozásai

#### A.19.5.4. Oszloptalpak

Oszloptalpak esetén két bekötés alakváltozási viselkedését kell megkülönböztetni (A.19.17. ábra):

- az oszlop és a beton alaptest közötti „bekötés” alakváltozási viselkedését (oszlop–alaptest „bekötés”);
- a beton alaptest és az altalaj közötti „bekötés” alakváltozási viselkedését (alaptest–altalaj „bekötés”).



A.19.17. ábra: Az oszloptalp bekötései

Az oszlop–alaptest bekötés esetén a hajlítási viselkedést egy  $M_c-\phi$  görbe írja le, amelynek alakját az oszlop alján működő hajlítónyomaték és normálerő viszonya határozza meg.

Az alaptest–altalaj bekötés esetén két alapvető alakváltozási görbét különböztetünk meg:

- az oszlop normálerőjének következtében az altalajban fellépő süllyedéseket leíró  $N_c-u$  görbét – más kapcsolattípusok esetével ellentétben ez a hatás jelentős lehet a teljes keret viselkedése szempontjából;
- a beton alaptestnek az altalajban való elfordulását leíró  $M_c-\phi$  görbét.

Mint az előzőekben tárgyalt valamennyi esetben, az oszlop végén fellépő nyíróerők következtében az oszloptalpban kialakuló alakváltozások hatását itt is elhanyagolhatjuk.

Az oszlop–alaptest bekötés és az alaptest–altalaj bekötés  $M_c-\phi$  görbéjének együttes figyelembevételével megkapjuk az oszlop végén érvényes elfordulási merevség értékét, amely azután felhasználható a keret analízise és ellenőrzése során.

Hasonlóan alakul a kétirányú hajlítással és normálerővel terhelt oszloptalpak alakváltozási viselkedése is. Ilyenkor külön-külön kell meghatározni az erős tengely körüli és a gyenge tengely körüli hajlításhoz tartozó  $M_c-\phi$  görbéket.

## A.19.6. Kapcsolatok osztályozása

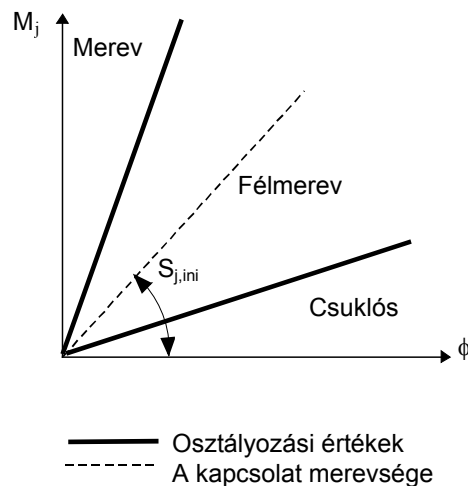
### A.19.6.1. Általános elvek

Az előadás egy későbbi szakaszában látni fogjuk, hogy a kapcsolatokat a keret analízise szempontjából modellezni kell, és hogy három alapvető kapcsolati modellt vezetünk be: az egyszerűt, a részlegesen folytatólagosat és a folytatólagosat.

Azt is látni fogjuk, hogy az alkalmazandó kapcsolati modell típusa attól függ, milyen jellegű analízist kívánunk végrehajtani, illetőleg attól, hogy merevség, illetőleg ellenállás szempontjából a kapcsolat melyik osztályba tartozik. A következőkben azokat a kritériumokat vesszük sorra, amelyek alapján meghatározható egy kapcsolat osztálya.

### A.19.6.2. Osztályozás merevség szerint

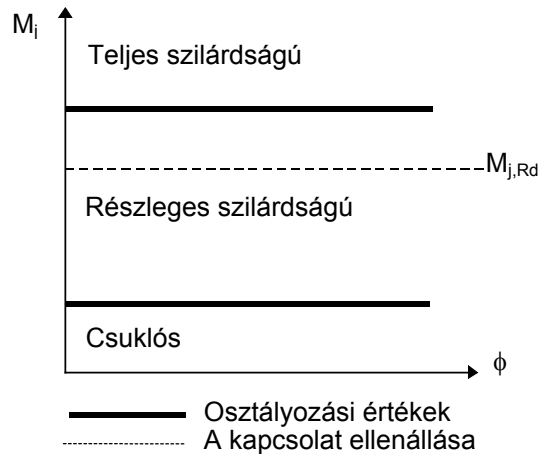
A kapcsolatok merevség szerinti osztályozását (azaz annak megállapítását, hogy a kapcsolat merev, félmerev vagy csuklós-e) úgy végezzük, hogy a kapcsolat tervezési merevségét összehasonlítjuk két osztályozási értékkel (A.19.18. ábra). Az egyszerűség kedvéért az osztályozási értékeket úgy állapították meg, hogy a kapcsolat *kezdeti merevségével* legyenek összehasonlíthatók, függetlenül attól, hogy a későbbiekben milyen módon idealizáljuk a kapcsolatot a szerkezet analíziséhez.



A.19.18. ábra: Osztályozási értékek a merevség szerinti osztályozáshoz

### A.19.6.3. Osztályozás ellenállás szerint

Az *ellenállás (szilárdság) szerinti osztályozás* egyszerűen azt jelenti, hogy a kapcsolat *tervezési* nyomatékai ellenállását összehasonlítjuk a teljes szilárdságú kapcsolat, illetőleg a csuklós kapcsolat osztályozási értékével (19. ábra).



A.19.19. ábra: Osztályozási értékek az ellenállás szerinti osztályozáshoz

#### A.19.6.4. Osztályozási értékek

Először is hangsúlyoznunk kell, hogy a kapcsolatok osztályba sorolását csakis a *tervezési értékek* alapján szabad elvégezni, a *kísérleti alapon meghatározott M-φ* görbe alapján nem.

A kapcsolatok merevség és ellenállás szerinti osztályozásához a következő osztályozási értékeket és kritériumokat alkalmazzuk.

- Merevség szerinti osztályozáshoz:
  - merev kapcsolat:
    - $S_{j,ini} \geq 25EI / L$  (merevítetlen keret esetére);
    - $S_{j,ini} \geq 8EI / L$  (merevített keret esetére);
  - félmerev kapcsolat:
    - $0,5EI / L < S_{j,ini} < 25EI / L$  (merevítetlen keret esetére);
    - $0,5EI / L < S_{j,ini} < 8EI / L$  (merevített keret esetére);
  - csuklós kapcsolat:  $S_{j,ini} \leq 0,5EI / L$ ;
- szilárdság szerinti osztályozáshoz:
  - teljes szilárdságú kapcsolat:  $M_{j,Rd} \geq M_{tsz}$ ;
  - részleges szilárdságú kapcsolat:  $0,25M_{tsz} < M_{j,Rd} < M_{tsz}$ ;
  - csuklós kapcsolat:  $M_{j,Rd} \leq 0,25M_{tsz}$ .

Az előzőekben:

- $EI / L$  a kapcsolatban lévő gerenda hajlítási merevsége;
- $M_{tsz}$  a kapcsolatba befutó elemek közül a leggyengébb keresztmetszetének tervezési ellenállása.

### A.19.6.5. Duktilitási osztályok

Tapasztalataink alapján, gondos részlettervezési munkával kialakíthatunk olyan *csuklós* kapcsolatokat, amelyek elegendő elfordulási képességgel rendelkeznek a szükséges elfordulások befogadásához.

Nyomatékot is átadni képes kapcsolatok esetén a duktilitási osztályok fogalmát az elfordulási képességgel összefüggő kérdések kezelésére alkalmazzuk. E kérdéssel részletesebben az „A nyomatéknak ellenálló kapcsolatok viselkedésének jellemzése” című fejezetben foglalkozunk.

## A.19.7. A kapcsolatok modellezése

### A.19.7.1. Általános elvek

A kapcsolatok viselkedése befolyásolja a keretszerkezet viselkedését, ezért az oszlopokhoz és a gerendákhoz hasonlóan a keretszerkezet analíziséhez és méretezéséhez a kapcsolatokat is valamilyen modell alapján kell figyelembe venni. Hagyományosan a következő kapcsolati modellek használatosak:

- elfordulási merevség szempontjából:
  - merev;
  - csuklós;
- ellenállás szempontjából:
  - teljes szilárdságú;
  - részleges szilárdságú;
  - csuklós.

A kapcsolat elfordulási merevségének vonatkozásában a *merev* kifejezés azt jelenti, hogy bármekkora legyen is a kapcsolat által átadott hajlító nyomaték, a kapcsolatba befutó elemek között nem alakult ki relatív elfordulás; a *csuklós* kifejezés azt feltételezi, hogy a kapcsolódó szerkezeti elemeket tökéletes (azaz súrlódásmentes) csukló köti össze. Mint korábban már említettük, a valóságban ezek a meghatározások enyhíthetők: a kis merevségű, de nem csuklós kapcsolatok, illetve a nagyon merev, de nem végtelenül merev kapcsolatok tekinthetők csuklósoknak, illetve merevnek. Az előző szakaszban láttuk, ezt a besorolást mely kritériumok alapján tehetjük meg.

Ami a kapcsolatok ellenállását illeti, a *teljes szilárdságú kapcsolat* erősebb, mint a kapcsolatba befutó elemek közül a gyengébb; a *részleges szilárdságú kapcsolat* ennek ellentéte. A napi gyakorlatban mindig ilyen részleges szilárdságú kapcsolatot tervezünk akkor, ha a kapcsolatot a tényleges igénybevételek átadására tervezzük, nem pedig a kapcsolt elemek teherbírására („igénybevételre”, és nem „határerőre” méretezünk). A *csuklós kapcsolatról* azt feltételezzük, hogy nem ad át nyomatékot. Az előző szakaszban áttekintettük a konkrét osztályozási kritériumokat.

Az elfordulási merevségre és az ellenállásra vonatkozó tulajdonságok alapján a következő három fontosabb kapcsolati modell vehető figyelembe:

- a merev és teljes szilárdságú kapcsolat;
- a merev és részleges szilárdságú kapcsolat;
- a csuklós kapcsolat.

A kapcsolat elfordulási merevsége szempontjából azonban a gazdaságosságot szem előtt tartva tervezett kapcsolatok gyakran sem merevek, sem nem csuklósak, hanem félmerevek. Ennek megfelelően két új modell lehetősége merül fel:

- a félmerev és teljes szilárdságú kapcsolatoké;
- a félmerev és részleges szilárdságú kapcsolatoké.

Az egyszerűség kedvéért az Eurocode 3 1.8. rész ezeket a lehetőségeket három kapcsolati modellben foglalja össze (A.19.1. táblázat):

- *folymatológos kapcsolat*: amelybe a merev és teljes szilárdságú kapcsolatok tartoznak;
- *részlegesen folytmatológos kapcsolat*: ide tartoznak a merev és részleges szilárdságú, a félmerev és teljes szilárdságú, valamint a félmerev és részleges szilárdságú kapcsolatok;
- *egyszerű kapcsolat*: ide tartoznak a csuklós kapcsolatok.

A.19.1. táblázat: A kapcsolati modellek típusai (a \*-gal jelzett esetek értelmetlenek)

MEREVSÉG SZERINT	ELLENÁLLÁS SZERINT		
	Teljes szilárdságú	Részleges szilárdságú	Csuklós
Merev	Folytmatológos	Részlegesen folytmatológos	*
Félmerev	Részlegesen folytmatológos	Részlegesen folytmatológos	*
Csuklós	*	*	Egyszerű

E fogalmak jelentése a következő:

- *folymatológos*: a kapcsolat teljes elfordulási folytonosságot valósít meg a kapcsolt elemek között;
- *részlegesen folytmatológos*: a kapcsolat csupán részleges elfordulási folytonosságot valósít meg a kapcsolt elemek között;
- *egyszerű*: a kapcsolat mindenféle elfordulási folytonosságot kizár a kapcsolt elemek között.

Hogy ezek a fogalmak adott esetben pontosan mit jelentenek és milyen következményekkel járnak, az attól függ, hogy milyen módon kívánjuk elvégezni a szerkezet analízisét. Rugalmas keretanalízis esetén a kapcsolatnak csak az elfordulási merevsége érdekes; merev-képlékeny analízis esetén a kapcsolat viselkedésének legfontosabb jellemzője ellenállása; más esetekben a merevségre és az ellenállásra vonatkozó jellemzők együttesen határozzák meg, milyen módon kell figyelembe venni a kapcsolatokat. Ezeket a lehetőségeket szemlélteti a A.19.2. táblázat.

A.19.2. táblázat: A kapcsolat modellje és a keretanalízis

MODELL	A KERETANALÍZIS TÍPUSA		
	Rugalmas analízis	Merev-képlékeny analízis	Rugalmas-tökéletesen képlékeny és elasztoplasztikus analízis
Folytmatológos	Merev	Teljes szilárdságú	Merev és teljes szilárdságú
Részlegesen folytmatológos	Félmerev	Részleges szilárdságú	Merev és részleges szilárdságú Félmerev és teljes szilárdságú Félmerev és részleges szilárdságú
Egyszerű	Csuklós	Csuklós	Csuklós



### A.19.7.2. Modellezés és a kapcsolat alakváltozásainak forrásai

Mivel az oszlop–gerenda kapcsolatokban a bekötésre és az oszlop gerinclemezére eltérő terhek hatnak, a magasépítési keretszerkezetek tervezésekor – legalábbis elméletileg – külön kell kezelni e két alakváltozási lehetőséget.

Ez azonban gyakorlati szempontból csak úgy valósítható meg, hogy a szerkezetet bonyolult, a két alakváltozási lehetőséget egymástól függetlenül kezelni képes számítógépi programmal vizsgáljuk. A legtöbb rendelkezésre álló szoftver azt követeli meg, hogy a kapcsolat modelljét oly módon egyszerűsítsük, hogy az elfordulási lehetőségeket egyetlen, a kapcsolatba befutó szerkezeti elemek tengelyének metszéspontjában elképzelt csavarrugóba koncentráljuk.

### A.19.7.3. Az Eurocode 3 szerinti egyszerűsített modell

A legtöbb gyakorlati esetben a bekötés és a gerincpanel külön-külön való modellezése felesleges és szükségtelen, ezért a továbbiakban csak a kapcsolati viselkedés egyszerűsített modellezésével foglalkozunk az Eurocode 3 gondolatmenete alapján (1.8. rész). A *A.19.3. táblázat* bemutatja, hogyan viszonyul a jellegzetes kapcsolatok modellezése a kapcsolati modellre bevezetett alapfogalmakhoz (egyszerű, részlegesen folytatólagos és folytatólagos).

*A.19.3. táblázat: Kapcsolatok egyszerűsített modellezése az Eurocode 3 szerint*

KAPCSOLATI MODELL	FŐIRÁNYÚ OSZLOP–GERENDA KAPCSOLAT	GERENDAILLESZTÉS	OSZLOPTALP
EGYSZERŰ			
RÉSZLEGESEN FOLYTATÓLAGOS			
FOLYTATÓLAGOS			

### A.19.7.4. A kapcsolat alakváltozásainak összevonása

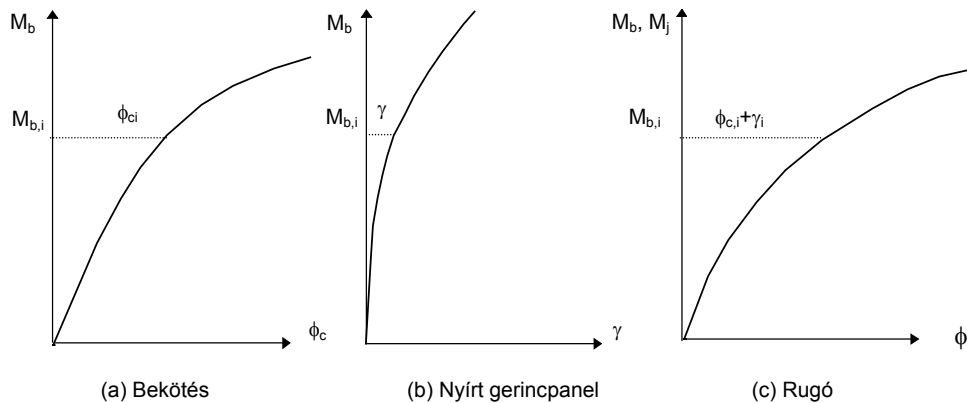
A tervezői gyakorlatban nem érdemes külön-külön figyelembe venni a bekötés hajlítási viselkedését és az oszlop gerinclemezének nyírási (főirányú oszlop–gerenda kapcsolatokban), illetve síkjára merőleges (mellékirányú oszlop–gerenda kapcsolatokban és gerenda–gerenda kapcsolatokban) viselkedését. A következőkben áttekintjük, hogyan lehet a kétféle alakváltozást egyetlen, a kapcsolatba befutó szerkezeti elemek tengelyvonalának metszéspontjában elképzelt csavarrugóba összevonni.

#### **Főirányú oszlop–gerenda kapcsolati elrendezések**

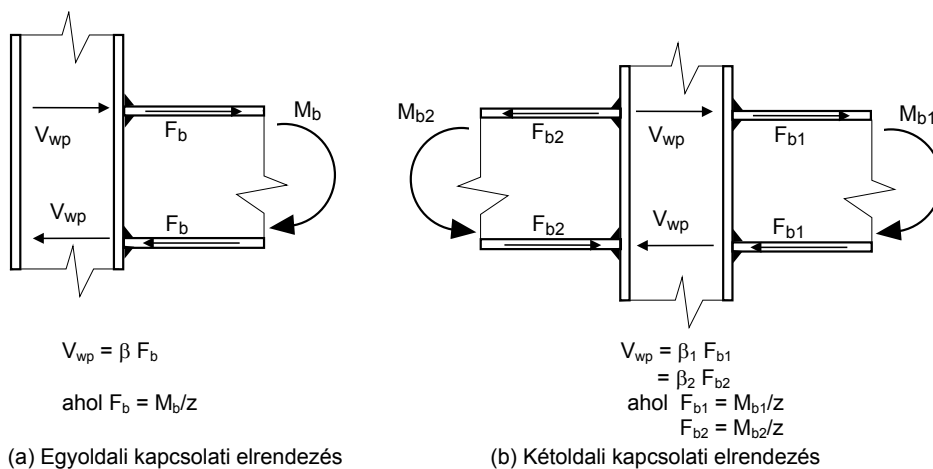
Egyoldali elrendezés esetén csak egy kapcsolatot kell vizsgálni. A gerincpanel karakterisztikus nyírás–elfordulás görbéjét (*A.19.20.b ábra*) először a  $\beta$  *transzformációs paraméter* segítségével egy  $M_b$ – $\gamma$  görbévé transzformáljuk. Ez a *A.19.21.a ábrán* meghatározott paraméter adja meg a gerincpanelben lévő nyíróerő és a bekötésben működő, az erőbevezetéshez tartozó nyomó- és húzóerők közötti összefüggést (lásd az (1) és (2) jelű képleteket).

A kapcsolat viselkedését leíró  $M_b$ - $\phi$  rugójelleggörbét a *A.19.20. ábra* szemlélteti. A görbét úgy kapjuk, hogy a bekötés elfordulásából származó részt ( $\phi_c$ ) és a gerincpanel elfordulásából származó részt ( $\gamma$ ) összeadjuk. Ezek után feltételezzük, hogy a gerenda és az oszlop tengelyének metszéspontjában elképzelt csavarrugó  $M_j$ - $\phi$  jelleggörbéje megegyezik az így nyert  $M_b$ - $\phi$  görbével (*A.19.20.c ábra*).

Kétoldali kapcsolati elrendezések esetén két kapcsolatot (egyét a bal oldalon, egyet pedig a jobb oldalon) kell figyelembe venni. Az alakváltozási görbéket ugyanúgy kell származtatni, mint egyoldali elrendezések esetén, felhasználva a  $\beta_1$  és  $\beta_2$  transzformációs paramétereket (*A.19.21.b ábra*).



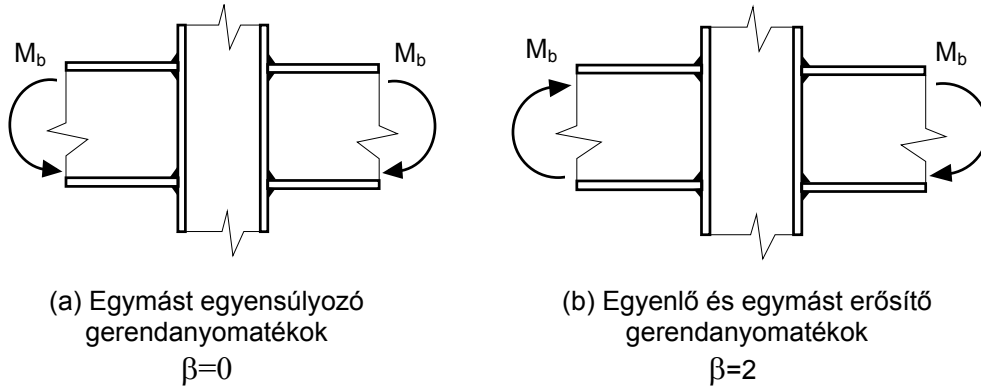
*A.19.20. ábra: A rugó hajlítási jelleggörbéje*



*A.19.21. ábra: A főirányú kapcsolatok  $\beta$  transzformációs paraméterének értelmezése*

Mivel a  $\beta$  paraméterek értékét csak akkor tudjuk meghatározni, ha már ismerjük az igénybevételeket, a fenti jelleggörbék szabatos meghatározása csak fokozatos közelítéssel, a szerkezet analízisének ismételt elvégzésével lehetséges. A gyakorlatban erre az iterációra nincs lehetőség, ezért olyan  $\beta$  értékekre van szükség, amelyek biztonságos közelítést jelentenek. Ezen előzetesen felvett értékek segítségével aztán felépíthető a kapcsolat modellje, és a modell alapján biztonságosan és egy lépésben elvégezhető a szerkezet analízise.

A  $\beta$  paraméter ajánlott közelítő értékeit (kétoldali elrendezések esetén  $\beta_1 = \beta_2$  feltételezésével) az „A nyomatéknak ellenálló kapcsolatok viselkedésének jellemzése. Gyakorlati módszerek” című fejezet adja meg. A közelítő érték  $\beta = 0$  (kétoldali kapcsolati elrendezés egyenlő, egymást egyensúlyozó nyomatékokkal) és  $\beta = 2$  (kétoldali elrendezés egyenlő és egymás hatását erősítő nyomatékokkal) között változik. E két szélső esetet szemlélteti a *A.19.22. ábra*.

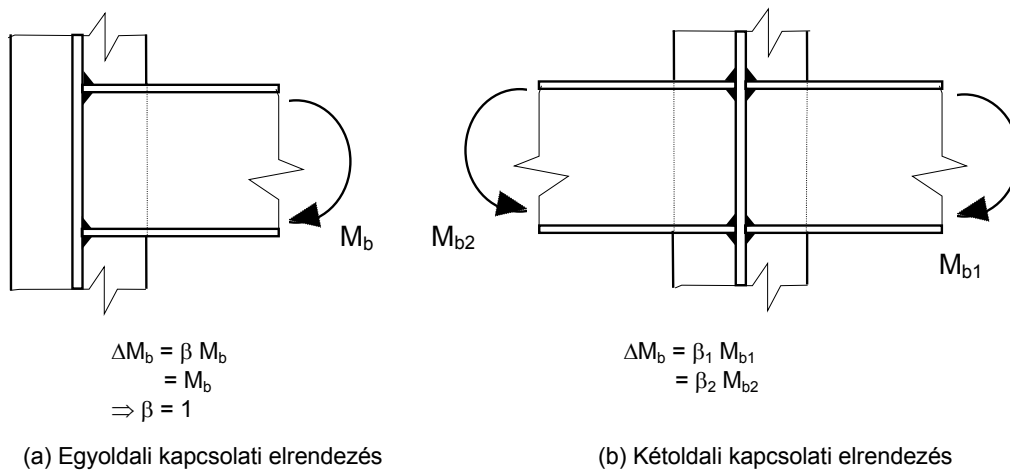


A.19.22. ábra: A  $\beta$  paraméter szélső esetei

**Mellékirányú oszlop–gerenda és gerenda–gerenda kapcsolati elrendezések**

Mellékirányú oszlop–gerenda és gerenda–gerenda kapcsolati elrendezések esetén az előzőekhez hasonlóan kell eljárni. A transzformációs paraméter jelentése ebben az esetben kissé módosul (A.19.23. ábra).

A főirányú oszlop–gerenda kapcsolati elrendezésekhez hasonlóan ezekre az elrendezésekre is ajánlhatók közelítő  $\beta$  értékek ( $\beta_1 = \beta_2$ ).



A.19.23. ábra: A  $\beta$  transzformációs paraméter értelmezése mellékirányú kapcsolatok esetén