A.24. Keretek osztályozása és a kapcsolati viselkedés leírása

A.24.1. A keretek osztályozása

A.24.1.1. Merevített és merevítetlen keretek

Merevítést a többszintes keretszerkezetekben általában azért alkalmazunk, hogy megakadályozzuk, vagy legalábbis korlátozzuk a vízszintes eltolódásokat. A merevítő rendszer leggyakrabban merevítő rácsozás vagy nyírt merevítő fal formájában jelenik meg (*A.24.1. ábra*).

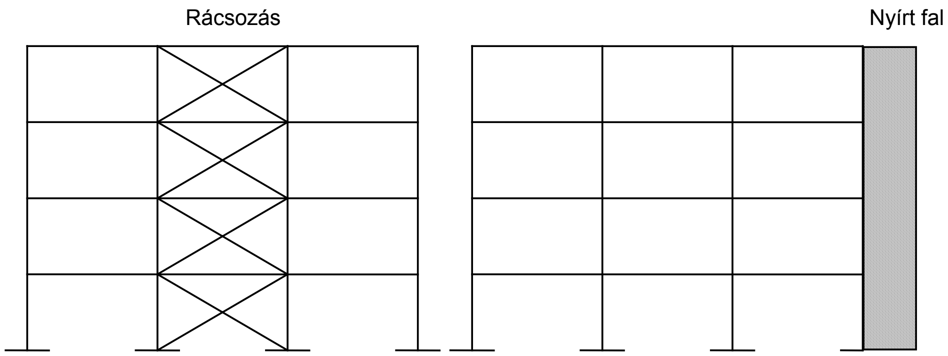
A keretet akkor nevezzük **merevítettnek**, ha van benne merevítő rendszer, és az kellően merev.

Ha a keret **merevített**, akkor lehetőség van a keret és a merevítő rendszer analízisét külön-külön elvégezni, a következők szerint:

- a merevítő rendszer nélküli keretről feltételezhető, hogy oldalirányban teljes mértékben meg van támasztva, ezért csak a függőleges terheket kell viselnie;

- a merevítő rendszer felveszi az általa megtámasztott merevített keretre működő összes vízszintes terhet, a merevítő rendszerre esetleg ható függőleges terheket, valamint a merevített keret és a merevítő rendszer kezdeti kilengés jellegű imperfekcióit.

Meg kell azonban jegyezni, hogy a rácsozással vagy keret jellegű merevítő rendszerrel merevített keretekben bizonyos tartószerkezeti elemek, amelyek egyébként a (merevítő rendszer nélküli) keret részét képezik, részt vesznek a merevítő rendszer erőjátékában is.



A.24.1. ábra: Szokásos merevítő rendszerek

Azokat a kereteket, amelyekben nincs merevítő rendszer, illetve azokat a kereteket, amelyekben van, de nem kellően merev, **merevítetlen kereteknek** nevezzük. A merevítetlen keretek analízisét mindig úgy kell elvégezni, hogy a teljes szerkezetet (az esetleges merevítő rendszerrel együtt) egyetlen egységnek tekintjük, amelyre mind a függőleges terhek, mind a vízszintes terhek, mind pedig az imperfekciós hatások működnek.

<u>A.24.1.1.1. A merevített és a merevítetlen keret osztályozási kritériuma</u>

Nem feltétlenül merevített az a keret, amelyben merevítő rendszer van. A keretet csak akkor tekinthetjük merevítettnek, ha a merevítő rendszer legalább 80%-kal csökkenti a vízszintes eltolódásokat.

- Ha nincs merevítő rendszer, akkor a keret **merevítetlen**.

- Ha van merevítő rendszer, akkor:

- ha $\Psi_{br} > 0,2\ \Psi_{ubr}$: a keret **merevítetlen**;

- ha $\Psi_{br} \leq 0,2\ \Psi_{ubr}$: a keret **merevített**,

ahol:

- Ψ_{br} a merevítő rendszerrel ellátott szerkezet oldalirányú hajlékonysága;

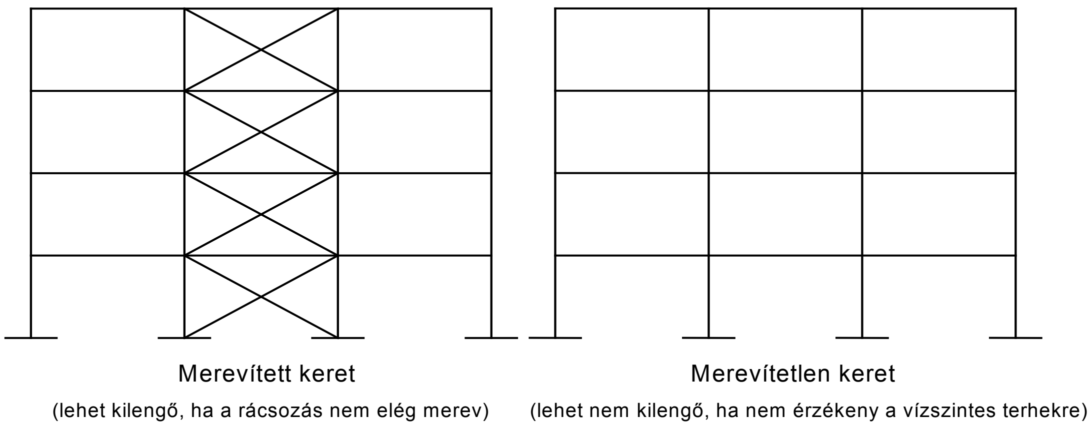
- Ψ_{ubr} a merevítő rendszer nélküli szerkezet oldalirányú hajlékonysága.

A.24.1.2. Kilengő és nem kilengő keretek

Egy keretet akkor nevezünk **nem kilengőnek**, ha a keret a síkjában működő vízszintes erőkkel szemben oly mértékű merevséggel rendelkezik, hogy reális az a közelítés, ha a keret csomópontjainak vízszintes eltolódásából származó többlet-igénybevételeket elhanyagoljuk. Nem kilengő keretek esetén a globális másodrendű hatások (azaz a P–Δ hatások) elhanyagolhatók.

Ha a globális másodrendű hatások nem hanyagolhatók el, akkor a keretet **kilengőnek** nevezzük.

A merevítő rendszerrel ellátott keretek általában egyben **nem kilengők** is, míg a merevítetlen keretek többnyire **kilengők**. Ez az összefüggés azonban nem egyértelmű: elméletileg elképzelhető olyan merevítetlen keret, amely nem kilengő (sőt, egyszintes portálkeretekben ez gyakori is), és elképzelhető olyan merevített keret is, amely kilengő (ez inkább többszintes épületekben fordulhat elő) (*A.24.2. ábra*).



A.24.2. ábra: Merevített és merevítetlen keret

A **nem kilengő** kereteket mindig szabad elsőrendű elmélettel számítani.

Ha egy keret **kilengő**, akkor másodrendű elméletet kell alkalmazni a keret analízise során. Általában elegendő, ha több elsőrendű analízis végrehajtásával, fokozatos közelítéssel határozzuk meg a másodrendű igénybevételeket (lásd a „Keretek modellezése és számítása" című fejezetet). Ha továbbá a szerkezet megfelel bizonyos feltételeknek, akkor elsőrendű elmélettel is szabad számolni (fokozatos közelítés nélkül), vagy úgy, hogy a rúdvégi nyomatékok számértékét a globális másodrendű hatások figyelembevétele érdekében korrigáljuk, vagy pedig úgy, hogy a szerkezet analízisét külön-külön végezzük el a függőleges terhekre és a kilengési terhekre (és ez utóbbiakat egy növelő tényezővel megszorozva vesszük figyelembe a szerkezeti elemek tervezése során – lásd a „Az igénybevétel-számítás módszerének megválasztása. A számítási módszer és a tervezés viszonya" című fejezetet).

Megjegyzendő, hogy a keretként kialakított merevítő rendszerekről is el kell dönteni, hogy kilengők-e vagy sem.

A.24.1.2.1. A kilengő és a nem kilengő keret osztályozási kritériuma

A keretszerkezetek (és a merevítő rendszerek) kilengő vagy nem kilengő voltát annak alapján kell eldönteni, hogy hogyan viszonyul a szerkezetre működő összes függőleges erő (V_{Sd}) értéke ugyanezen terhek kilengő jellegű stabilitásvesztést (keretkihajlást) okozó kritikus értékéhez (V_{cr}).

Nyilván minél közelebb van a ténylegesen működő teher a kritikus teherhez, annál nagyobb a stabilitásvesztés veszélye, és annál nagyobbak a globális másodrendű hatások (a P–Δ hatások) következményei a szerkezeten.

Az osztályozási feltétel a következő:

- ha $V_{Sd} / V_{cr} \leq 0{,}1$, a keret **nem kilengő**;
- ha $V_{Sd} / V_{cr} > 0{,}1$, a keret **kilengő**.

Ez a szabály a következőképpen is kifejezhető:

- ha $\lambda_{cr} = V_{cr} / V_{Sd} \geq 10$, a keret **nem kilengő**;
- ha $\lambda_{cr} = V_{cr} / V_{Sd} < 10$, a keret **kilengő**.

A.24.2. A keret kilengő módhoz tartozó rugalmas kritikus terhének meghatározása

A.24.2.1. Közelítő eljárás

Magasépítési szerkezetek vízszintes gerendákból és függőleges oszlopokból álló keretszerkezeteiben, ha a gerendák minden szinten minden oszlopot összekötnek, akkor a kilengő módhoz tartozó rugalmas kritikus teher kiszámítható a következő módon.

- Végrehajtjuk a keret elsőrendű rugalmas analízisét a vizsgált teherkombinációra. Meghatározzuk az egyes szintek összes teherből (a vízszintes és a függőleges terhek együtteséből) származó vízszintes eltolódását.
- A vizsgált teherkombinációban a keret kilengő módhoz tartozó rugalmas kritikus terhe a következő képlettel becsülhető:

$$\frac{V_{Sd}}{V_{cr}} = \min\left[\frac{\delta}{h}\frac{V}{H}\right]_i ,$$

ahol i az i-edik szintre utal, továbbá

- V_{Sd} az alaptestre ható függőleges reakcióerő tervezési értéke;
- V_{cr} a keret kilengő módhoz tartozó rugalmas kritikus terhe;
- δ az i-edik szint felső födémjének vízszintes eltolódása (kilengése) az i-edik szint alsó födémjéhez képest;
- h az i-edik szint magassága;
- H az i-edik szint alján a vízszintes reakcióerők összege;
- V az i-edik szint alján a függőleges reakcióerők összege.

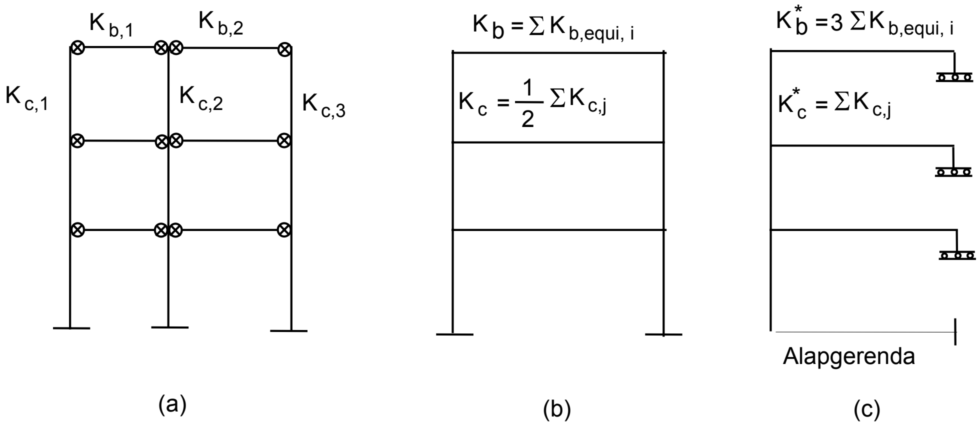
Megjegyzés: Látható, hogy az előzőekben megadott közelítés lényege, hogy a ténylegesen működő erő és a kritikus erő arányát a globális másodrendű hatásokból (a P–Δ hatásból, amely itt $V_i\ \delta_i$) az oszlopok alján ébredő nyomaték és az ugyanitt ébredő elsőrendű kilengési nyomaték ($H_i\ h_i$) arányával becsüljük.

A.24.2.2. A *Grinter*-féle kereteken alapuló eljárás

Az eljárás lényege, hogy a tényleges keretet helyettesítjük egy képzeletbeli kerettel, az úgynevezett *Grinter*-féle egyenértékű kerettel [1]. A *Grinter*-féle keretnek könnyű meghatározni a rugalmas kritikus terhét, és a kapott érték általában jól közelíti a tényleges keret rugalmas kritikus terhének értékét. Többhajós keretekben célszerű először keresni egy helyettesítő egyhajós, merev kapcsolatokkal rendelkező keretet, és csak azután meghatározni a *Grinter*-féle egyenértékű keretet.

A többszintes és többhajós, merev vagy félmerev kapcsolatokkal kialakított keretet először egy egyenértékű helyettesítő egyhajós, merev kapcsolatokkal rendelkező kerettel helyettesítjük, amelyben az oszlopok és a gerendák egyenértékű merevséggel rendelkeznek (*A.24.3.a–b ábra*). Ezt az egyenértékű keretet úgy vesszük fel, hogy minden egyes szint oldalirányú eltolódása megegyezzen az eredeti keret egyes szintjeinek oldalirányú eltolódásával. Ennek megfelelően várható, hogy a két keret rugalmas kritikus terhe közel lesz egymáshoz.

Feltételezzük, hogy a keretek rugalmasan viselkednek, továbbá magasságuk mentén végig folytatólagosak. Ebből a feltételezésből az oszlopok merevsége minden egyes szinten a következő lesz:



A.24.3. ábra: (a) eredeti keret (félmerev kapcsolatok);
(b) helyettesítő keret (merev kapcsolatok); (c) Grinter-féle keret

$$K_c = \frac{1}{2}\sum_j K_{cj} \ ,$$

ahol $K_{c,j}$ a j-edik oszlop $I_{c,j}$ / $L_{c,j}$ merevségi tényezője.

A lineáris megfogással rendelkező gerenda egyenértékű merevségi tényezője minden egyes szinten a következő lesz:

$$K_b = \sum_i K_{b,equi,\ i} \ ,$$

ahol:

$$K_{b,\ equi,\ i} = \frac{I_{b,equi,\ i}}{L_{b,\ i}}; \quad I_{b,equi,\ i} = \left[\frac{1}{1+3\alpha_i}\right] I_{b,\ i}\ ; \quad \alpha_i = \frac{2EI_{b,\ i}}{S_{j,\ ini,\ i} L_{b,\ i}} \ ,$$

és merev kapcsolat esetén $\alpha_i = 0$; továbbá

- $E_{ib,i} / L_{b,i}$ a vizsgált *i*-edik gerenda hajlítási merevsége;
- $S_{j,ini,i}$ a tényleges szerkezet vizsgált gerendájának végén lévő kapcsolat kezdeti merevsége. Ha a gerenda két végén eltérő merevségű kapcsolat van, akkor vagy a két kapcsolati merevség közül a kisebbiket használjuk (a biztonság javára közelítve), vagy megkeressük azt az egyenértékű merevséget, amely a gerenda mindkét végén feltételezhető.

Mivel az ily módon felvett helyettesítő keret merev kapcsolatokkal rendelkezik, most már meghatározható a hozzá tartozó *Grinter*-féle egyenértékű keret (*A.24.3.b-c ábra*). Mivel a valóságos, a helyettesítő és a *Grinter*-féle egyenértékű keret vízszintes eltolódásai szintenként megegyeznek, várható, hogy a három keret rugalmas kritikus terhe is közel van egymáshoz.

A *Grinter*-féle keret elemeinek merevségét a következőképpen kell felvenni:

$$K_b^* = 3\sum_i K_{b,equi,i} \quad \text{és} \quad K_c^* = \sum_j K_{c,j} \; .$$

A tényleges, félmerev kapcsolatokkal kialakított keret rugalmas kritikus terhe ezek után a hozzá tartozó *Grinter*-féle keret rugalmas kritikus terhével vehető egyenlőnek. A számítás a következő lépésekben végezhető el.

1. Meghatározzuk az egyes oszlopok V_{cr}^* kritikus terhét **a kilengési módhoz tartozó kihajlási hossz** alapján, az oszlopvégek megfogásának figyelembevételével.
2. Ha a *Grinter*-féle keret minden oszlopának kiszámítottuk a V_{cr}^* kritikus terhét, akkor ezek közül a legkisebb, $V_{cr,\min}^*$ lesz a *Grinter*-féle keret, és ennek megfelelően a vizsgált tényleges keret rugalmas kritikus terhének megbízható alsó becslése.

A.24.2.3. Egyensúly-elágazási analízis és másodrendű lépésenkénti analízis

A keretek rugalmas kritikus terhe speciális számítógépi programok segítségével is kiszámítható. Ha a kapcsolatok félmerevek, akkor az analízis során kezdeti merevségükkel vesszük őket figyelembe. Bizonyos elrendezésű keretekre emellett speciális grafikonok is rendelkezésre állnak, amelyek alapján gyorsan meghatározható a rugalmas kritikus teher értéke [1, 2].

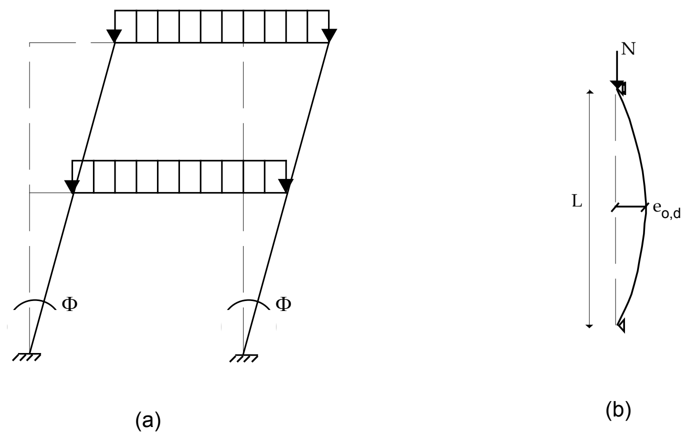
A.24.3. Imperfekciók

A.24.3.1. Keretek imperfekciói

A.24.3.1.1. Bevezetés

A keret globális imperfekcióit a keret analízise során a helyettesítő geometriai imperfekció, azaz kezdeti kilengés (*A.24.4.a ábra*) révén figyelembe kell venni. A szerkezeti elemek tervezése során számításba kell venni az ezekből származó belső erőket és nyomatékokat.

A keretek imperfekcióit külön teheresetként kell kezelni, amelyet a keretre működő minden teherkombinációban figyelembe kell venni. A kezdeti kilengés jellegű imperfekciók minden vízszintes irányban fennállnak, de egyszerre csak egy irányban kell őket figyelembe venni. Különös figyelmet igényelnek a keret két oldalán kialakuló antimetrikus kilengés jellegű imperfekciókból származó esetleges csavaró hatások.



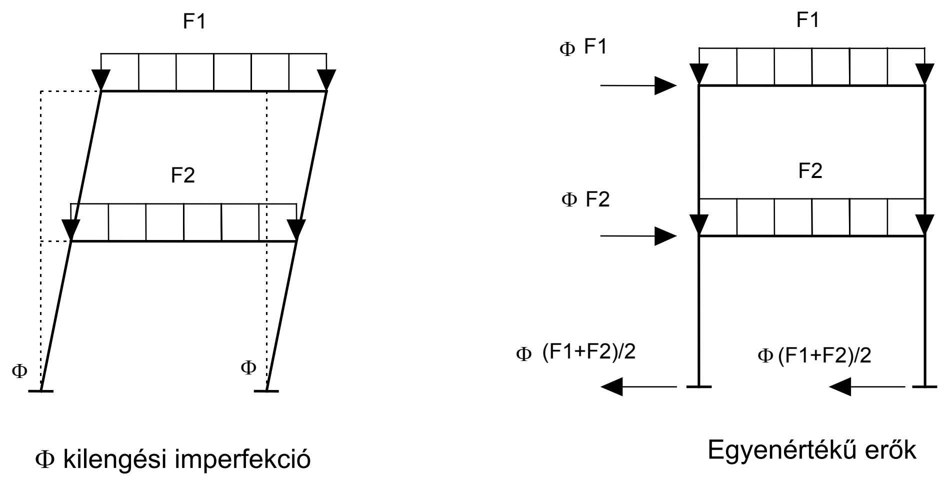
A.24.4. ábra: (a) A keret globális imperfekciói; (b) A szerkezeti elem lokális imperfekciói

Ezek a globális imperfekciók az egyes födémszinteken felvett egyenértékű vízszintes erők révén is számításba vehetők.

A következőkben áttekintjük azt a két lehetőséget, amelyekkel a keretek imperfekciói figyelembe vehetők.

A.24.3.1.2. Keretek geometriai jellegű globális imperfekciói

A keret imperfekcióit egy kezdeti kilengés jellegű imperfekcióval írjuk le, amelyet a keretnek az oszlopok alapozásához képest értelmezett kilengés jellegű elfordulásával adunk meg (*A.24.5. ábra*). A kezdeti kilengés jellegű imperfekciókat közvetlenül a következő képlet szolgáltatja:



A.24.5. ábra: A keret globális imperfekciói

$$\phi = k_c\, k_s\, \phi_0,$$

ahol:

$$\phi_0 = 1/200;$$

$$k_c = \sqrt{0{,}5 + \frac{1}{n_c}}\text{, de } k_c \le 1;$$

$$k_s = \sqrt{0{,}2 + \frac{1}{n_s}}, \text{ de } k_s \leq 1,$$

továbbá

- n_c a síkonkénti összes teljes magasságú oszlop száma;
- n_s a szintek száma.

A.24.3.1.3. Egyenértékű vízszintes erők zárt rendszere

Az előző pontban leírtak helyett a keret globális imperfekciói figyelembe vehetők egy egyenértékű zárt erőrendszerrel. Ez gyakran előnyösebb, mint a geometriai jellegű imperfekciók közvetlen figyelembevétele.

Ezek a vízszintes erők ugyanazzal az eljárással határozhatók meg, mint amellyel a külső teher következtében fellépő *P*–Δ hatást figyelembe vevő egyenértékű vízszintes terhet számítottuk (lásd a „Keretek modellezése és számítása" című fejezetet). Az egyes födémszinteken, illetve a tetőszinten működő egyenértékű vízszintes erőket ennek megfelelően úgy kell meghatározni, hogy az adott szinten működő függőleges terheket megszorozzuk a kezdeti kilengés jellegű imperfekció értékével. Ez a számítás bármely vízszintes irányban érvényes, de egyszerre csak egy irányú kilengést kell figyelembe venni (*A.24.5. ábra*).

Az alaptesteknél feltételezendő egyenértékű vízszintes erőket ezek után úgy kapjuk, hogy a függőleges reakcióerőket megszorozzuk a kezdeti kilengés jellegű imperfekció értékével. Ezek az erők ellentétes értelemben működnek, mint a födémszinteken és a tetőszinten feltételezett vízszintes erők, így a kiadódó erőrendszer zárt rendszert alkot, vagyis a teljes szerkezetre működő egyenértékű vízszintes erők összege zérus.

A.24.3.2. A merevítő rendszer számítása során figyelembe veendő imperfekciók

Gerendák vagy nyomott elemek oldalirányú megtámasztására is tervezett merevítő rendszerek analízise során figyelembe kell venni a megtámasztott szerkezeti elemek egyenértékű geometriai imperfekcióját.

Lehetőség van arra is, hogy a kezdeti görbeség jellegű imperfekciókat egyenértékű stabilizáló erők formájában vegyük számításba. Emellett, ha a megtámasztott elemben illesztés van, akkor a merevítő rendszert úgy kell megtervezni, hogy képes legyen egy, az összes gerenda vagy nyomott elem illesztési pontjában egyszerre működő helyi erő felvételére.

A.24.3.3. A szerkezeti elemek helyi imperfekciója és alakváltozása

A szerkezeti elemek figyelembe veendő helyi imperfekcióját (görbeségét) a *A.24.4.b ábra* mutatja. Látható, hogy az imperfekció következményei megegyeznek a szerkezeti elem hajlításból és nyomásból származó tényleges alakváltozásainak hatásaival, azaz a *P*–δ hatással.

A keretek analízisének végrehajtása közben a szerkezeti elemek imperfekciói általában elhanyagolhatók, kivéve egyes, különösen karcsú elemek esetét. Amikor az imperfekciókat elhanyagoljuk, akkor azt tételezzük fel, hogy ezek hatása be van építve a kihajlási görbékbe.

A szerkezeti elem imperfekcióját akkor kell figyelembe venni, ha a szerkezeti elem nyomott, kilengő keretben van és nyomatéknak ellenálló kapcsolatokkal rendelkezik, továbbá:

$$\bar{\lambda} > 0{,}5 \cdot \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Sd}}} \quad \text{(vagy: } N_{Sd}/N_{cr} > 0{,}25 \text{ vagy } \lambda_{cr} = N_{cr}/N_{Sd} < 4\text{)}$$

ahol:

- N_{Sd} a nyomóerő tervezési értéke;

- N_{cr} a szerkezeti elem *Euler*-féle kritikus ereje, az elem hálózati hossza alapján számítva:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Sd}}}\,.$$

Nem magyarázható meg a szabvány azon előírása, hogy a szerkezeti elemek imperfekcióit csak kilengő keretek esetén kell figyelembe venni, hiszen az imperfekciók miatt fellépő *P*–δ hatás nem kilengő és kilengő keretekben egyaránt kialakul. A szabvány feltételezi, hogy nem kilengő keretek esetén ezt a hatást a kihajlási görbék tartalmazzák.

A prizmatikus szerkezeti elemek imperfekcióit (a geometriai imperfekciókat és a gyártási sajátfeszültségeket) néha, de igen ritkán, figyelembe kell venni a keret analízise során is. Ilyen esetekben a szerkezeti elemet ellátjuk egy alkalmas egyenértékű kezdeti görbeség jellegű imperfekcióval (lásd a *A.24.4.b ábrát*). A szerkezeten olyan általános másodrendű analízist kell végrehajtani, amely a globális (*P*–Δ) és a lokális (*P*–δ) másodrendű hatásokat egyaránt tartalmazza (lásd a „Keretek modellezése és számítása" című fejezetet). A nem prizmatikus (egyenletesen vagy ugrásszerűen változó keresztmetszetű) rudak analízise másodrendű számítással hajtható végre, amelyben az egyenértékű görbeség jellegű imperfekciót figyelembe vesszük.

Adott szerkezeti elem esetén a figyelembe veendő egyenértékű görbeség jellegű imperfekció függ a kihajlási görbétől, az analízis módszerétől és a keresztmetszet ellenőrzésének típusától. A kezdeti görbeséggel rendelkező elemet általában két vagy több egyenes szakaszból álló, tört vonalú, egymáshoz merev kapcsolattal csatlakozó elemmel modellezzük, és a közbenső csomópontokat a görbe alakon vesszük fel (általában szinuszgörbe alakot feltételezve). Ily módon az igénybevételeket az elem közbenső pontjaiban is megkapjuk.

Az elemek kezdeti imperfekcióinak figyelembevételéből következik, hogy a szerkezet analízisében a szerkezeti elem teljes hosszán változik az igénybevételek eloszlása (ahhoz képest, mintha nem vennénk őket figyelembe). A szerkezeti elemek alakváltozásai miatti helyi másodrendű hatások (ugyancsak *P*–δ hatás) tovább fokozzák ezeket a változásokat. Bár ez utóbbi hatást az Eurocode 3 1.1. része nem említi, nyilvánvaló, hogy figyelembe kell venni mindazokban a szerkezeti elemekben, amelyek imperfekcióit a globális analízisben figyelembe vesszük (legalábbis ami a prizmatikus rudakat illeti). Általában ajánlható, hogy nem kilengő keretekben alkalmazott igen karcsú elemek esetén éppúgy általános másodrendű elmélet szerint végezzük el a szerkezet analízisét, mint kilengő keretekben. Arra is tekintettel kell lenni, hogy a kezdeti görbeség jellegű imperfekció iránya milyen hatással van a szerkezeti elemben kialakuló igénybevételekre.

A.24.4. A kapcsolati viselkedés leírása a keret analíziséhez

A.24.4.1. Hagyományos módszer

A magasépítési szerkezetek tervezésének hagyományos módszerét részletesebben a „A korszerű tervezési eljárások gyakorlati alkalmazása" című előadásban tárgyaljuk. A módszer egyik alapvető vonása az, hogy a szerkezeti elemek közötti kapcsolatokat merevnek vagy csuklósnak tételezi fel.

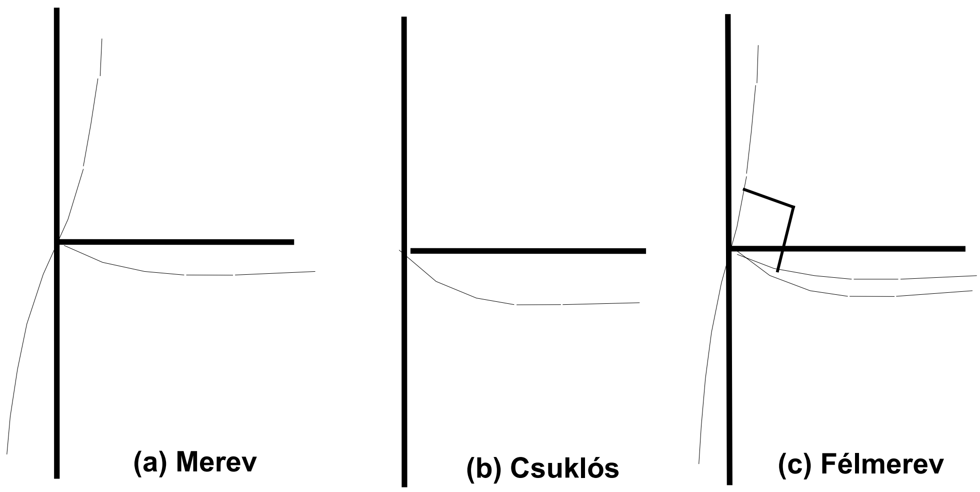
Ez a módszer különösen merevített nem kilengő keretek esetén előnyös, ahol az oszlop–gerenda kapcsolatok legtöbbjét nem tervezzük nyomaték átadására. Azok a kapcsolatok, amelyeket pedig nyomaték átadására tervezzük, általában a merevítő rendszerben helyezkednek el, ezért nagy merevséggel kell rendelkezniük.

A módszer akkor is hasznos, ha az ún. „szélnyomatékok módszerét" alkalmazzuk. Ez utóbbiban az oszlop–gerenda kapcsolatokról azt feltételezzük, hogy a függőleges terhekből nem keletkezik bennük nyomaték, a szélteherből azonban igen. Az azonban egyelőre nem világos, hogy ez a módszer használható-e az Eurocode 3 1.1. része szerinti tervezés során. A módszer a kapcsolatok félmerev viselkedésének figyelembevételére szolgáló, igen egyszerű eljárásnak is tekinthető.

4.2. A félmerev kapcsolatokon alapuló módszer

A.24.4.2.1. A kapcsolatok osztályozása merevség szerint

Gyakori, hogy a valóságos szerkezetek kapcsolatainak nyomaték–elfordulás viselkedése a két szélső eset, a merev és a csuklós kapcsolat viselkedése között helyezkedik el. A következőkben példaként mindig az oszlop–gerenda kapcsolatokra hivatkozunk. Egy tipikus oszlop–gerenda kapcsolatban például a gerendára működő terhek következtében kialakuló elfordulásokat a *A.24.6. ábra* szemlélteti.



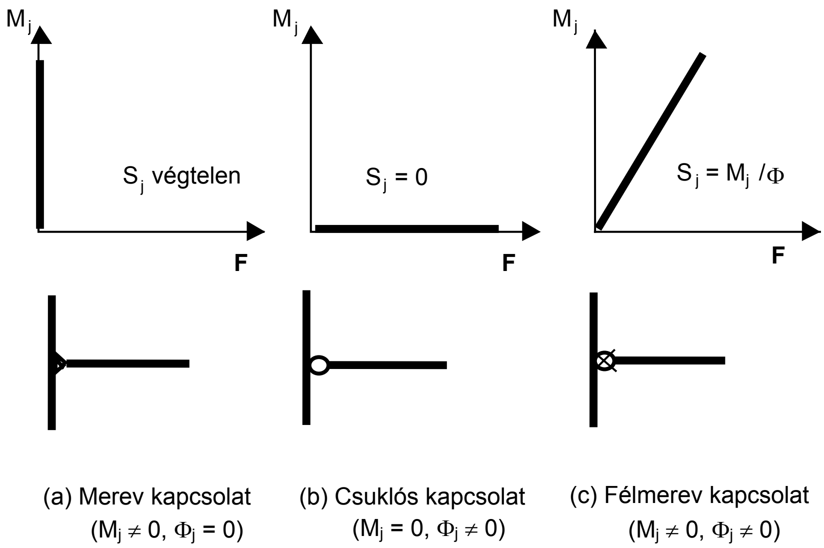
A.24.6. ábra: Kapcsolatok osztályozása merevség szerint

Ha a kapcsolat összes alkotóeleme elegendően merev, akkor a kapcsolatba befutó szerkezeti elemek végén kialakuló elfordulások között nem lesz lényeges különbség. Ilyenkor a kapcsolat **merevnek** tekinthető (*A.24.6.a ábra*). A merev kapcsolat egyetlen, merev testszerű globális elfordulást szenved, amely a szerkezeti analízis szokásos eljárásaiban a csomópont elfordulásának felel meg.

Ha a kapcsolatnak igen kicsi a hajlítással szembeni merevsége, akkor a gerenda hasonlóan viselkedik a kéttámaszú gerendához, függetlenül a többi kapcsolódó szerkezeti elemtől (*A.24.6.b ábra*). A kapcsolat ilyenkor **névlegesen csuklósnak** tekinthető, és a gerenda és az oszlop vége közötti elforduláskülönbség gyakorlatilag megegyezik a kéttámaszú gerenda végkeresztmetszetének elfordulásával.

Közbenső esetekben (zérustól különböző, véges kapcsolati merevség) az átadott nyomaték következtében a két kapcsolt szerkezeti elem végkeresztmetszetének elfordulása között különbség lép fel (*A.24.6.c ábra*). Ilyenkor a kapcsolatot **félmerevnek** nevezzük.

A kapcsolat figyelembevételének legegyszerűbb módja a globális analízisben a két kapcsolt szerkezeti elem végét összekapcsoló egyenértékű csavarrugó feltételezése. Az ábrán látható oszlop–gerenda kapcsolat esetén a rugót a gerenda végére helyezzük. A rugó S_j elfordulási merevsége az a paraméter, amely megadja az átadott M_j nyomaték és a kialakuló Φ_j relatív elfordulás (azaz a két összekapcsolt szerkezeti elem végkeresztmetszetének elfordulása közötti különbség) közötti összefüggést. Minél nagyobb a kapcsolat merevsége a kapcsolt szerkezeti elem merevségéhez képest, annál merevebb a kapcsolat. A kapcsolatok három kategóriáját a *A.24.7. ábra* szemlélteti.



A.24.7. ábra: A különböző kategóriájú kapcsolatok viselkedésének leírása

Félmerev kapcsolatokkal kialakított keretek esetén a terhek hatására a kapcsolatokban mindig kialakulnak M_j nyomatékok és Φ_j relatív elfordulások. A nyomatékok és a relatív elfordulások egy, a kapcsolat jellemzőitől függő törvényszerűség szerint egymással összefüggnek. Ezt szemlélteti a *A.24.7. ábra*, amelyen lineárisan rugalmas viselkedést feltételeztünk. A szerkezet analízisében a félmerev kapcsolatok alkalmazásának következtében nemcsak az elmozdulások nagysága, hanem az igénybevételek nagysága és eloszlása is módosul.

A.24.4.2.2. A kapcsolatok oszlályozása alakváltozási képesség szerint

Ami a kapcsolatok **alakváltozási** vagy **elfordulási képességét** illeti, a kapcsolatok a keresztmetszetekhez hasonlóan osztályozhatók, annak megfelelően, hogy milyen ellenállással rendelkeznek a helyi instabilitási jelenségekkel, illetve általánosabban, a rideg jellegű tönkremenetellel (elsősorban a csavarok tönkremenetelével) szemben. Egy keret kapcsolatainak alakváltozási képessége (vagy ennek hiánya) meghatározhatja, hogy szerkezet analízisét milyen eljárással hajthatjuk végre.

A kapcsolatok alakváltozási képesség szerinti osztályozásának egyik gyakorlati alkalmazása annak eldöntése, hogy a keretszerkezet analízise végrehajtható-e képlékeny módszerekkel, és feltételezhető-e olyan képlékeny tönkremeneteli mechanizmus, amelyben a kapcsolatokban is kialakulnak képlékeny csuklók.

A.24.4.2.3. A kapcsolatok osztályozása szilárdság szerint

A kapcsolatokat nemcsak **merevségük** és **alakváltozási képességük**, hanem **szilárdságuk** alapján is osztályozzuk.

Szilárdság szempontjából megkülönböztetünk „teljes szilárdságú” és „részleges szilárdságú” kapcsolatokat annak megfelelően, hogy a kapcsolat ellenállása legalább akkora-e, illetve kisebb-e, mint a kapcsolt szerkezeti elemé. Ha például egy állandó keresztmetszetű gerenda illesztéséről van szó, akkor a kapcsolat ellenállását a gerenda nyomatéki ellenállásához hasonlítjuk. Szokásos kialakítású oszlop–gerenda kapcsolatok esetén a kapcsolat ellenállását a leggyengébb szerkezeti elem ellenállásához hasonlítjuk. Emellett, ha a kapcsolatban nem alakulnak ki jelentős nagyságú nyomatékok, akkor a kérdéses kapcsolatot „névlegesen csuklósnak” nevezzük.

A szilárdság szerinti osztályozás képlékeny szerkezeti analízis esetén kiegészíti az alakváltozási képesség szerinti osztályozást. A szilárdság szerinti osztályozás alapján ilyenkor eldönthető, hogy a kapcsolatban fog-e kialakulni a képlékeny csukló.

Teljes szilárdságú kapcsolatok esetén általában feltételezhető, hogy nem alakul ki bennük képlékeny csukló. Hogy biztosak lehessünk a dolgunkban, a szabvány megköveteli, hogy ilyenkor a kapcsolat legalább 20%-kal legyen nagyobb szilárdságú a kapcsolt szerkezeti elemeknél. Ez szükséges elővigyázatosság, hiszen gyakran nehéz olyan teljes szilárdságú kapcsolatot tervezni, amely egyben kellő alakváltozási képességgel is rendelkezik, másrészt a szerkezeti elemek ellenállása – például amiatt, mert az anyag szilárdsága nagyobb az előírtnál – gyakran nagyobb, mint amivel számolunk.

A részleges szilárdságú kapcsolatokban kialakulhatnak képlékeny csuklók. Miután a képlékeny csukló kialakult a kapcsolatban, a kapcsolat rendes csuklóként viselkedve teszi lehetővé a szerkezetre működő terhek további növelését, ami csak akkor lehetséges, ha a kapcsolat kellő alakváltozási képességgel rendelkezik. Szerencsére könnyű olyan kapcsolatokat készíteni, amelyek részleges szilárdságúak és kellő alakváltozási képességgel is rendelkeznek. Részleges szilárdságú, nagy alakváltozási képességgel rendelkező kapcsolatok esetén könnyű előre meghatározni, hol fognak kialakulni a képlékeny csuklók. Ez különösen többszintes merevített nem kilengő keretek közbenső gerendái esetén előnyös, amelyek így egyszerű merev–képlékeny analízis alapján méretezhetők.

A.24.4.3. A kapcsolati modell megválasztása a szerkezeti analízishez

Az, hogy a szerkezet analízisében a kapcsolatok viselkedését mennyire részletesen vesszük figyelembe, a kerettípus fogalmának bevezetésével adható meg.

A három kerettípus: az egyszerű, a folytatólagos és a részlegesen folytatólagos keretek a háromféle kapcsolattal: a csuklós, a merev, illetve a félmerev kapcsolattal kialakított kereteket jelentik.

Az analízis során merevként vagy csuklósként figyelembe vett kapcsolatokat úgy kell kialakítani, hogy megfeleljenek a merev, illetve a névlegesen csuklós kapcsolatok osztályozási kritériumainak.

A félmerev kapcsolati modell különböző bonyolultságú lehet. A kapcsolatok modellezhetők csavarrugóként, amelynek nyomaték–elfordulás karakterisztikája a lineárisan rugalmastól a nemlineárisig terjedhet – ez utóbbi már a kapcsolat alakváltozási képességét is tartalmazza. Ha a szerkezetet lineárisan rugalmas analízissel vizsgáljuk, akkor a kapcsolatot is lineárisan rugalmas modellel kell leírni. A rugalmas–tökéletesen képlékeny analízishez bilineáris kapcsolati modell szükséges. Ennek megfelelően a szerkezeti analízis típusa közvetlen hatással van arra, hogy milyen részletességű kapcsolati modellt kell alkalmazni, különösen képlékeny analízis esetén, ha megengedjük, hogy a kapcsolatokban képlékeny csuklók alakuljanak ki. A nemlineáris kapcsolati modellnek az is következménye, hogy a szerkezeti analízis végeredményeire nem érvényes a szuperpozíció elve.