

A.20. Egyszerű acélszerkezeti kapcsolatok

A.20.1. Bevezetés

Az oszlop–gerenda kapcsolatokat és a gerenda–gerenda kapcsolatokat hagyományosan csuklósként vagy merevként tervezzük, annak ellenére, hogy a legkevésbé merev kapcsolatnak is van valamekkora nyomatéki ellenállása, míg a legmerevebb is végez bizonyos mértékű alakváltozásokat. Mint az „Acélszerkezetek kapcsolatai. Alapfogalmak” című fejezetben láttuk, a csuklós (egyszerű) kapcsolatokról feltételezzük, hogy bármekkora elfordulás alakul is ki bennük, nyomatéki ellenállással sohasem rendelkeznek. A kilengésükben megakadályozott keretek e feltételezés következtében statikailag határozott alkotóelemek összességére redukálódnak, amelyekben az igénybevételek akár "kézzel" is könnyedén kiszámíthatók, és legalább ugyanilyen fontos, hogy az egyes szerkezeti elemek a szerkezet többi részétől függetlenül méretezhetőek. Ha a kapcsolatok merevek, a keret analízise ugyancsak egyszerű modell szerint végezhető, bár maga a számítás lényegesen összetettebb lesz, mint csuklós kapcsolatok esetén. Nyilvánvaló, hogy a csuklós és a merev kapcsolatok feltételezése azért vált szokássá, mert a keret analízise, és így a tervezés teljes folyamata jelentősen leegyszerűsödik. Bár az elmúlt évtizedekben a számítástechnikai lehetőségek ugrásszerűen javultak, a legtöbb magasépítési keretszerkezetet ma is e feltételezésekhez igazodva tervezik, gondosan vigyázva arra, hogy a kapcsolatok nyomaték–elfordulás jelleggörbéje megfeleljen az előzetesen tett feltételezéseknek. Ebből az is következik, hogy a csuklósként tervezett kapcsolatok esetén még a legegyszerűbb kialakításokat alkalmazva sem lehet kihasználni az egyébként elkerülhetetlen véges merevségből származó előnyöket, ugyanakkor a folytatólagos keretként (merev kapcsolatokkal) tervezett szerkezetben bonyolult kialakítású, költséges, általában merevítő bordákat is tartalmazó kapcsolatokat kell alkalmazni annak érdekében, hogy a kapcsolat rendelkezék az előzetesen feltételezett fokozott merevséggel. A valóságban minden kapcsolat nyomaték–elfordulás jelleggörbéjét az jellemzi, hogy valahol e két véglet között van.

A merevség mellett még egy jellemző van, amelyet figyelembe kell venni a kapcsolatok megtervezésekor: az ellenállás. Az ideális csuklós kapcsolat definíció szerint zérus nyomatéki ellenállással rendelkezik. Más kapcsolatok vagy teljes szilárdságúak (ha nyomatéki ellenállásuk meghaladja a kapcsolt elemekét), vagy részleges szilárdságúak (ha ellenállásuk kisebb a kapcsolt elemekénél). Ezzel a kérdéssel a „Keretek modellezése és számítása” című fejezet foglalkozik részletesebben.

Ha az ideálisan csuklós kapcsolat meghatározását szigorúan kívánjuk követni, akkor igen drága szerkezeti kialakítást kapunk. Ennek nincs értelme, hiszen a mérnökök már hosszú évek óta készítenek kiválóan működő szerkezeteket e feltételezések alapján, ilyen túlzott költségek nélkül. Számos olyan eset van, amikor az igen kis merevség és ellenállás elhanyagolható. Az Eurocode 3 kimondja, hogy „*a névlegesen csuklós kapcsolatnak képesnek kell lennie a számított erők átvitelére anélkül, hogy benne olyan, jelentős nagyságú nyomatékok lépjenek fel, amelyek kedvezőtlenül befolyásolhatnák a szerkezeti elemeket*”. Nyilvánvaló, hogy a kapcsolatnak mindemellett képesnek kell lennie átadni mindazokat az igénybevételeket, amelyek az adott helyen fellépnek, és arról is gondoskodnia kell, hogy az alakváltozások kialakulása közben ne lépjenek fel jelentős nagyságú feszültségek. Ebből az is következik, hogy ha a keretet képlékeny elvek szerint tervezzük, akkor a kapcsolatban ki kell tudnia alakulni mindazoknak az elfordulásoknak, amelyek ahhoz szükségesek, hogy a képlékeny mechanizmusban valamennyi képlékeny csukló megjelenjék. Ezért szükséges a megfelelő elfordulási képességre vonatkozó követelmény. A zérus nagyságú nyomaték átadására tervezett kapcsolatoknak tehát be kell tudniuk fogadni a kialakuló elfordulásokat úgy, hogy közben a többi igénybevétel, elsősorban a nyíróerőt, képesek továbbítani.

Látható tehát, hogy általában a kapcsolatok három, egymástól jól elkülöníthető jellemzővel rendelkeznek:

- (i) ellenállással – a nyomatékkal szemben;
- (ii) merevséggel – amelyet a nyomaték–elfordulás jelleggörbe meredekségéből olvashatunk ki;
- (iii) alakváltozási képességgel – azaz elfordulási képességgel.

A kutatások eredményei szerint annak eldöntéséhez, hogy az oszlop–gerenda kapcsolat kielégíti-e azt a követelményt, hogy a benne kialakuló nyomatékok nem befolyásolják hátrányosan a keret működését, azaz hogy a kapcsolat tekinthető-e névlegesen csuklósnak, a következő három feltételt kell megvizsgálni.

A.20.1.1. Első feltétel: a merevség

Az S_j elfordulási merevségnek ki kell elégítenie a következő feltételt:

$$S_{j,ini} \leq 0,5EI_b / L_b, \quad (\text{A.20.1})$$

ahol:

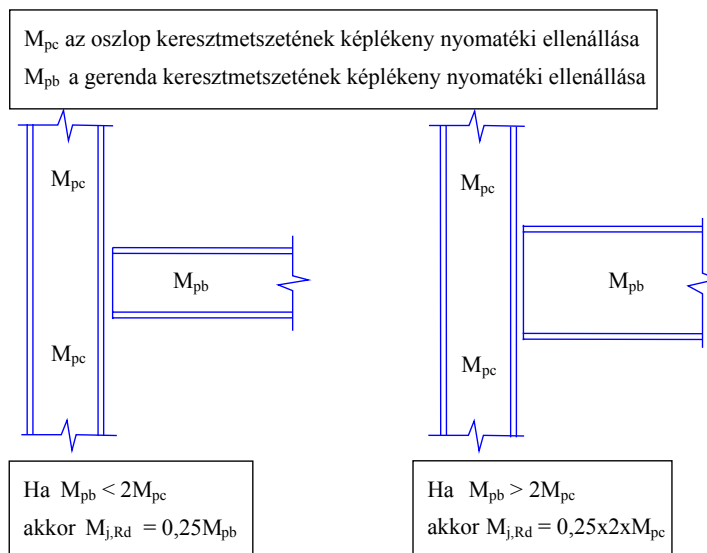
- $S_{j,ini}$ a kapcsolat kezdeti merevsége;
- I_b a kapcsolatba befutó gerenda tehetetlenségi nyomatéka;
- L_b a kapcsolatba befutó gerenda hossza.

Megadható az S_j elfordulási merevség az M_{Rd} nyomatéki ellenállás eléréséhez tartozó húr merevségként. Az EC 3 1.8 része az $S_{j,ini}$ kezdeti merevséget adja meg.

A.20.1.2. Második feltétel: az ellenállás

A kapcsolat M_{Rd} nyomatéki ellenállásának nem szabad meghaladnia a kapcsolatba befutó szerkezeti elemek közül a gyengébbik vagy leggyengébb $M_{pl,Rd}$ képlékeny nyomatéki ellenállásának 0,25-szorosát (A.20.1. ábra).

Amellett, hogy a tervezett csuklós kapcsolattól elvárjuk, hogy kielégítse az előző két feltételt, még arról is gondoskodni kell, hogy képes legyen valamely összekapcsolandó elemről biztonsággal a másikra továbbítani mindazokat az erőket (nyíróerő – a gerenda reakcióereje, illetve esetleg normálerő), amelyeknek az adott helyen át kell adódniuk. Itt elsődlegesen a gerenda végén keletkező, az oszlopra átadandó reakcióerőre kell gondolni. Emellett normálerő is működhet, tehát végső soron a kapcsolatot e két erő eredőjére kell méretezni.



A.20.1. ábra: Az egyszerű (csuklós) kapcsolatok nyomatéki ellenállására vonatkozó követelmény

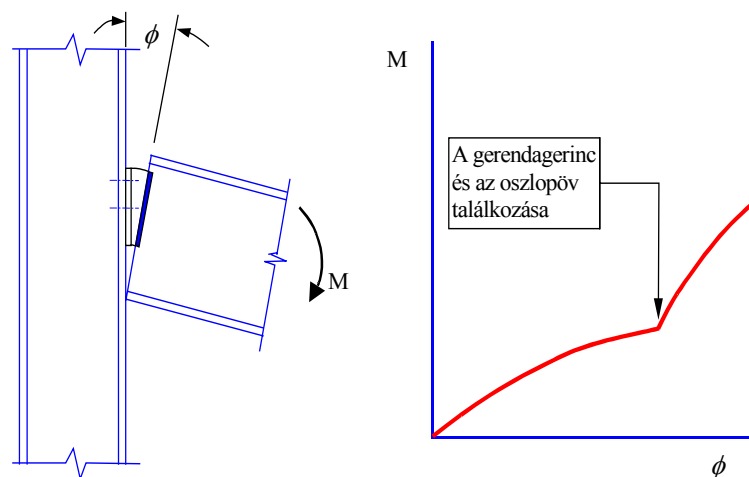
A.20.1.3. Harmadik feltétel: az elfordulási képesség

Még egy további feltétel is van, amely azt fejezi ki, hogy egy bizonyos, kellő nagyságú elfordulás kialakulásáig a kapcsolat folytonos maradjon, és az alakváltozásokat törés megjelenése nélkül viselje (például a hegesztési varratokban ne alakuljanak ki repedések), és ezáltal a szerkezet képes legyen a teljes teherbírásának megfelelő

terhek felvételére. Az elfordulási képességre vonatkozó követelmény emellett azt is kizárja, hogy a szükséges elfordulások kialakulásáig a kívánatosnál nagyobb merevségre tegyen szert a kapcsolat.

Tekintsük először ez utóbbi követelményt, a kívánatosnál nagyobb merevség kérdését. Egyik nyilvánvaló megjelenési formája ennek a jelenségnek az, amikor egy hézag bezáródik, és a két határoló felület egymáshoz feszül. Ennek következtében olyan merevségnövekedés következhet be, amely az egyszerű keret feltételezésével összeegyeztethetetlen (A.20.2. ábra). Közepes méretű (kb. 450 mm magasságú), 6,0 m támaszközü gerendákon végzett számítások azt mutatják, hogy amennyiben a gerenda végén ideális csuklót feltételezünk, akkor a teherbírás kimerülését okozó, szélső értékű teher következtében a gerendavégén körülbelül 10 mm-es hézag záródik még be. A gerenda magasságának növekedésével a szükséges hézagmentesség nyilván növekszik. A gyakorlatban a gerenda végén mindig áll rendelkezésre valamekkora nyomatéki ellenállás, aminek következtében csökken a szükséges hézagmentesség, és ugyancsak csökken a gerenda mezőnyomatéka. Gerendák esetén az ideális csukló feltételezése tehát a biztonság javát szolgálja. Ami az oszlopokat illeti, első ránézésre úgy tűnik, hogy a helyzet nem ilyen kedvező, mert a kapcsolat által felvett nyomaték az oszlopra adódik át. Kiterjedt elméleti és kísérleti kutatások alapján azonban azt lehet mondani, hogy a gerendáról átadódó nyomaték kedvezőtlen hatását ellensúlyozza az a tény, hogy a kapcsolat merevsége miatt a gerenda megtámasztást biztosít az oszlopnak. E jelenségről részletesebben a második hivatkozott irodalomban olvashatunk.

Vizsgálni kell emellett a kapcsolat tönkremeneteli módját is. Szögacélos kapcsolatokban az anyag tervezettnél nagyobb szilárdságából származó kedvezőtlen hatásokat az EC 3. 1.8.rész rejtett tényezők formájában veszik figyelembe. Ezek használata révén a tönkremenetel biztosan a szögacélokban alakul ki, nem pedig a csavarokban, a tönkremenetel tehát nagy alakváltozások kíséretében megy végbe (nem lesz rideg jellegű), ami általában garantálja az elegendő elfordulási képességet.



A.20.2. ábra: A hézag záródásának hatása

A.20.2. Kapcsolati kialakítások

Csuklós oszlop–gerenda kapcsolatként leggyakrabban alsó övbekötő és gerincbekötő szögacélos, alsó és felső övbekötő szögacélos, gerincbekötő szögacélos, kis homloklemez és nyírt lemez kapcsolatot alkalmazunk. A A.20.3. ábrán néhány jellegzetes elrendezés látható. Elsődleges és másodlagos gerendák összekapcsolására gyakran használnak hasonló kialakításokat; néhány példa látható a A.20.4. ábrán. Az adott esetben alkalmazandó kialakítását elsősorban a kivitelező rendelkezésére álló eszközök határozzák meg, de fontos tényező az is, hogy milyen tapasztalataink vannak az egyes kialakításokkal kapcsolatban, illetve hogy mik a helyszíni szerelési munka követelményei. Ez utóbbi vonatkozásban gyakran előfordul, hogy a szerelhetőség érdekében a gerendaszelvény egy részét le kell vágni, amint arra a A.20.4. ábra példái is utalnak. Oszlop–gerenda kapcsolatok esetében néha ugyancsak előfordulhat, hogy szerelhetőségi megfontolások miatt a gerendaszelvény valamely részét ki kell vágni.

Az erőátadásról mindenütt a kellő biztonság szem előtt tartásával kell gondoskodni; elegendő teherbírást kell biztosítani, miközben ügyelünk a rugalmasságra és az elfordulási képességre. Ez utóbbi követelmények

teljesülését általában inkább tapasztalat alapján, semmint konkrét számításokkal vizsgáljuk, de az első követelmény kielégülését csakis a szabványosított feltételeken keresztül ellenőrizhetjük.

Mint az előzőekből nyilvánvaló, a kapcsolatok alkotóelemekből épülnek fel, amelyek együttesen biztosítják a kapcsolatba befutó elemek összekapcsolását; az erőátadás tehát fokozatosan megy végbe. A teljes rendszer egy lánchoz hasonlítható, amelyben ha valamely láncszem nem megfelelő, akkor a lánc elszakad és a kapcsolat tönkremegy. Az erőátadás elsődlegesen hegesztési varratok és csavarok segítségével történik, bár elvételre szegecselést is alkalmaznak. A gyártást általában úgy végzik, hogy az üzemben csak hegesztetni, a helyszínen csak csavarozni kelljen. Bár ez az iránymutatás inkább csak általános irányelvként, mintsem konkrét követelményként fogalmazható meg, mégis érzékelteti a ma szokásos eljárást, amelyet elsősorban gazdaságossági megfontolások indokolnak.

A.20.2.1. Oszlop–gerenda kapcsolatok

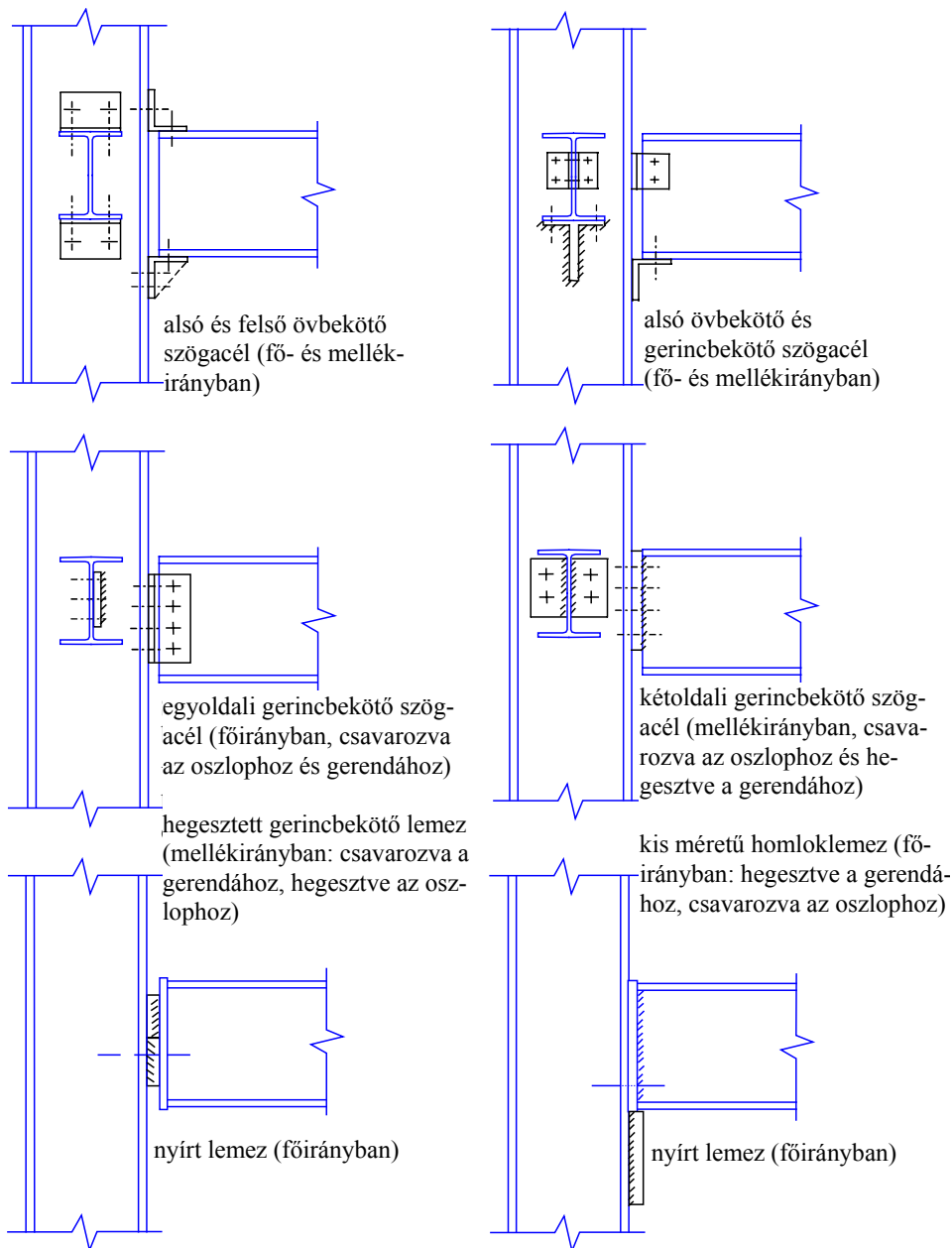
Az *A.20.5. ábrán* látható egyszerű szögacélos kapcsolatból is látható, hogy a szögacélok csavarokkal kapcsolhatók mind az oszlop övlemezéhez, mind pedig a gerenda gerinclemezéhez, hegesztési varratra pedig nincs szükség. Másik megoldás, ha a szögacélok vagy az oszlop övlemezéhez, vagy a gerenda gerinclemezéhez a gyártóüzemben hozzáhegesztjük, a szögacél másik szarán lévő csavarokat pedig a helyszínen helyezzük be. A bemutatott kapcsolat megfelelőségének igazolásához számos vizsgálatot kell elvégezni. A következőkben ezeket tekintjük át:

1. Erőátadás a gerenda gerinclemezéről a csavarokra (1. rész). Meg kell vizsgálni a nyírási kiszakadás lehetőségét. A potenciális tönkremeneteli zónát a *A.20.6. ábra* szemlélteti.
2. Erőátadás a gerenda gerinclemezéről a csavarokra (1. rész). A palástnyomási ellenállás kimerülése a csavarok és a gerenda gerinclemeze közötti felületen.
3. A gerenda gerinclemezét a szögacélhoz kapcsoló csavarok nyírási ellenállásának kimerülése.
4. A palástnyomási ellenállás kimerülése vagy nyírási kiszakadás a szögacélok szarain. A követelmények alapvetően megegyeznek az 1. és 2. pontban megfogalmazottakkal.
5. Az oszlop övlemezét és a szögacélok összekapcsoló csavarok nyírási tönkremenetele. A 3. ponthoz hasonló eset.
6. Palástnyomási tönkremenetel az oszlop övlemezét és a szögacélok összekapcsoló csavarok mentén. A 2. ponthoz hasonló eset.

Ha húzóerőket is kell figyelembe venni (mint például a brit nemzeti alkalmazási dokumentum szerint), akkor a kapcsolatot az ilyen jellegű potenciális törésképek alapján erre is ellenőrizni kell. Ne feledjük, hogy az eredő hatás számításához gyakran a normál- és a nyíróerő együttesét kell figyelembe venni.

1. A gerenda gerinclemezének nyírási kiszakadása az előzőek szerint, de módosított tönkremeneteli zónával.
2. A palástnyomási ellenállás kimerülése a csavarok és a gerenda gerinclemeze közötti felületen.
3. A csavarok nyírási ellenállásának kimerülése.
4. A gerincbekötő szögacélok húzási ellenállásának kimerülése.
5. Az oszlop övlemezén elhelyezkedő csavarok húzási ellenállásának kimerülése.

A legtöbb ellenőrzés hasonló ahhoz az esethez, amikor csak a függőleges reakcióerő működik, mások viszont különböznek. Nyilvánvaló azonban, hogy az ellenőrzés ekkor is tulajdonképpen azon az elven alapul, hogy a lánc minden láncszemének képesnek kell lennie a továbbítandó erő felvételére, és a lánc ellenállását leggyengébb láncszemének ellenállása adja.

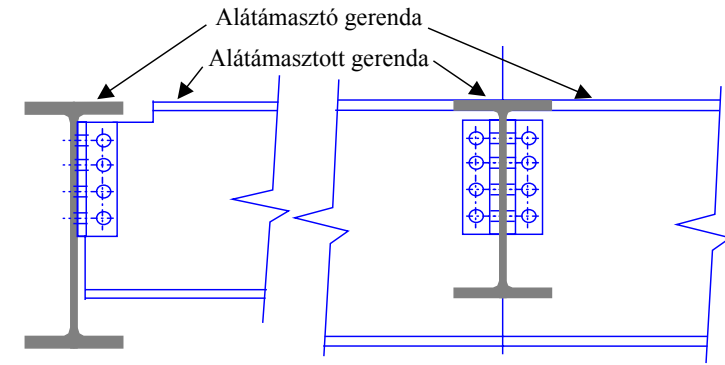


A.20.3. ábra: Jellegzetes egyszerű kapcsolatok

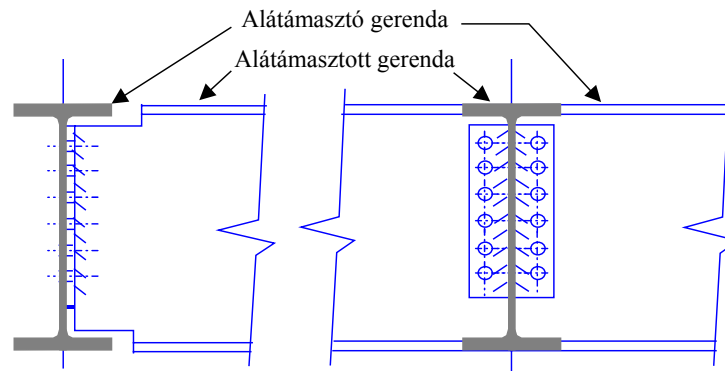
Az előzőeken kívül további követelményt jelentenek a csavarlyukak elhelyezésére vonatkozó előírások, amelyek arról gondoskodnak, hogy – teherbírási, illetve használhatósági szempontból – ne legyenek olyan, a részletkialakításokban rejlő veszélyforrások, amelyekre nem számítunk. Ezek a feltételek a szegecses számúra készített furatokra is vonatkoznak, bár manapság kevés szegecselt kapcsolat készül. Ezeket az előírásokat a szabvány 6.5.1. szakasza tartalmazza, és a következőkben röviden összefoglaljuk őket.

1. Minimális végtávolság – nem lehet kisebb a lyukátmérő 1,2-szeresénél.
2. Minimális széltávolság – általában nem lehet kisebb a lyukátmérő 1,5-szeresénél.
3. Maximális szél- és végtávolság – időjárási vagy más korróziós hatásoknak kitett kapcsolatok esetén nem lehet nagyobb a vékonyabbik kapcsolt elem vastagságának négyszerese plusz 40 mm-nél; más esetekben nem lehet nagyobb 150 mm-nél vagy a vékonyabbik elem vastagságának 12-szeresénél.

4. Minimális osztástávolság – az erőátadás irányában a kötőelemek furatainak tengelytávolsága nem lehet nagyobb a lyukátmérő 2,2-szeresénél, de ez az érték a megfelelő palástnyomási ellenállás elérése érdekében szükség szerint növelhető.
5. Maximális osztástávolság – a húzott és nyomott elemek bekötéseire vonatkozóan vannak előírások, de ezek oszlop–gerenda kapcsolatokban ritkán mértékadók.

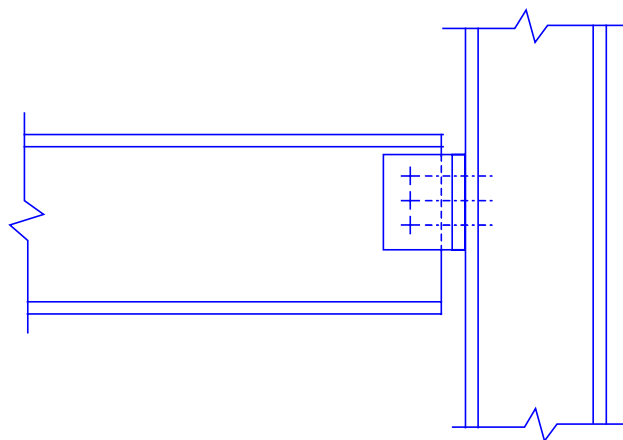


Felül kivágott gerenda szögacélos kapcsolata

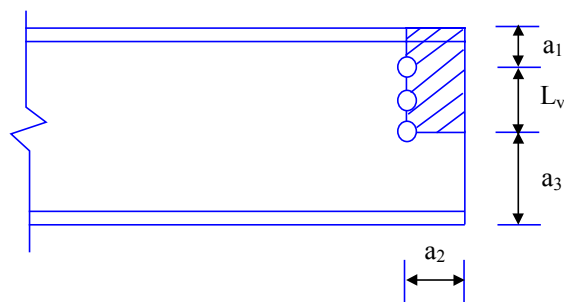


Alul és felül kivágott gerenda szögacélos kapcsolata

A.20.4. ábra: Gerenda–gerenda kapcsolatok



A.20.5. ábra: Egyszerű gerincbekötő szögacélos csavarozott kapcsolat



A.20.6. ábra: A nyírási kiszakadás vizsgálata során figyelembe veendő hatékony terület

Másféle egyszerű kapcsolatokban hasonló módon kell a kapcsolat összetett működését egyszerű erőátadásokra bontani. Adott esetben az elvégzendő vizsgálatok eltérőek lehetnek; eddig például nem szóltunk a hegesztési varratok ellenőrzéséről.

A.20.2.2. Gerenda–gerenda kapcsolatok

A leggyakrabban előforduló gerenda–gerenda kapcsolatok egy másodlagos (alátámasztott) gerendáról egy elsődleges (alátámasztó) gerendára adják át a terhet. E célra használhatók például a *A.20.4. ábrán* látható kialakítások. Az első kialakítás esetén az elsődleges gerenda magassága nagyobb, mint a másodlagos gerendáé, míg a második esetben a két gerenda azonos magasságú. Gyakran követelmény, hogy a két gerenda felső övének felső síkja egy magasságba essék – a *A.20.4. ábra* példái eleget tesznek ennek a követelménynek. Más esetekben nincs ilyen kívánalom.

A gerenda–gerenda kapcsolat másik megjelenési formája a gerendaillesztés. A gerenda–gerenda kapcsolatok esetén figyelembe veendő legfontosabb hatások megegyeznek az oszlop–gerenda kapcsolatoknál elmondottakkal, ezért ezeket most itt nem ismételjük meg.

A.20.2.2.1. Gerenda–gerenda kapcsolatok: merőleges gerendák kapcsolatai

A nagyobb eltérések annak következtében alakulnak ki, hogy szerelhetőségi megfontolások miatt eltérő részletkialakításokat alkalmazunk. A *A.20.4.b ábra* egy olyan másodlagos gerenda végén elhelyezkedő kapcsolatot mutat, amely elsődleges gerendába fut be. A vékony homloklemez (általában nem a teljes szelvénymagasság mentén) hozzáhegesztjük a másodlagos gerenda végéhez, majd pedig az elsődleges gerenda övlemezéhez csavarozzuk. Ez a megoldás igen népszerű, mert minimális szintű építéshelyi munka tartozik hozzá. Hátránya azonban, hogy a gerenda behelyezése nehézkes lehet, és ráadásul nem teszi lehetővé a túl hosszú gyártott másodlagos gerendák szerkezetbe illesztését. Adott esetben kívánatos lehet a gerendákat eleve az előírtnál rövidebbre gyártani, és amikor a gerenda a helyére került, a hosszt a másodlagos gerenda beemelésével egyidejűleg béléslemezekkel kipótolni.

A homloklemez helyett egy vagy két szögacél is használható a *A.20.4.a ábra* szerinti módon. A szögacélt mind az elsődleges, mind a másodlagos gerenda gerinclemezéhez csavarok kapcsolják, aminek az az előnye, hogy a hossz kisebb eltérései és a beállítási pontatlanságok a csavarlyukak lyukhézagaival ellensúlyozhatók. Ha ez nem elegendő, nyújtott alakú csavarlyukak is készíthetők.

Mindkét elrendezés esetén gondot jelenthet, hogy ha a két gerenda tengelyvonala azonos magasságban van, akkor az elsődleges és a másodlagos gerendák felső övlemezének felső síkja nem azonos. A *A.20.4. ábra* példáin a gerendák felső övének felső síkja egyezik meg, de ehhez az szükséges, hogy a másodlagos gerenda övlemezét a szerelés megkönnyítése érdekében még akkor is kivágjuk egy darabon, ha a másodlagos gerenda magassága egyébként lehetővé tenné, hogy a gerenda befusson az elsődleges gerenda övlemezei közé.

Ez a megoldás újabb problémát vet fel, amelyet a kapcsolat tervezési ellenállásának meghatározása során figyelembe kell venni: a nyírási kiszakadás lehetőségét – hiszen az I gerendából a kivágás után fordított T szelvény marad. A kivágott szakaszon csökken a gerenda síkbeli, síkjára merőleges és csavarási ellenállása és merevsége, továbbá ugyanitt a gerinclemez megtámasztás nélkül maradt szakaszának horpadására is oda kell figyelni. Néha előfordulhat, hogy emiatt helyi merevítésre van szükség.

A.20.2.2.2. Gerenda–gerenda kapcsolatok: gerendaillesztések

Gerendaillesztésről akkor beszélünk, ha a gerendában szállíthatósági vagy szerelhetőségi megfontolások miatt valahol szerelési toldást helyezünk el. Az illesztést általában nyomatéknak ellenálló kapcsolatként alakítjuk ki oly módon, hogy az illesztés helyén is legalább azonos keresztmetszeti jellemzők (például hajlítási merevség és nyomatéki ellenállás) álljanak rendelkezésre, mint másutt. Ezt a kapcsolatot merev, teljes szilárdságú kapcsolatként tervezzük, ezért nem a jelen előadás tárgykörébe esik; egyes esetekben azonban csuklós kapcsolat kialakítása is lehet kívánalom. Ilyenkor a jelen előadásban ismertetett alapelvek szerint kell eljárni.

Bizonyos esetekben egyszerű kapcsolat kialakítása a követelmény, például amikor a kapcsolatot olyan keresztmetszetben tervezzük, ahol a nyomatéki igénybevétel nulla; ilyenkor kívánatos lehet, hogy a pozitív nyomatékokat a gerenda egyik szakaszára korlátozzuk, és a kapcsolat ne közvetítsen nyomatékot a gerenda másik szakaszára. A gyakorlatban ez a nulla nyomatékra vonatkozó feltétel ritkán valósítható meg.

Látható, hogy ezeket a kapcsolatokat hasonlóképpen lehet kezelni, mint az oszlop–gerenda kapcsolatokat, vagyis azon elv szerint, hogy az egyedi ellenőrzések láncolata biztosítja, hogy a teljes erőátadási útvonalon a szükséges ellenállással rendelkeznek, és az előírt erő átadása megvalósul. Emellett a rugalmasságra és az elfordulási képességre vonatkozó követelményekre is oda kell figyelni, és megfelelő hézagméretekkel kell dolgozni annak biztosítására, hogy a várható elfordulások kialakulása esetén ne fordulhasson elő annak következtében nem kívánatos merevség-növekedés, hogy bizonyos felületek érintkezésbe lépnek egymással.