

Acélszerkezeti csomópontok méretezése az EC3 szerint

1. A csomópontok méretezésének alapelvei – a komponens módszer

Az EC3-1-8-ban alkalmazott u.n. „komponens módszer” egyszerűbb csomóponti kialakítások esetében kézi számítással is elvégezhető, ugyanakkor a mérnöki számítás céljára elegendő pontosságú eljárás.

A komponens-módszer lényege, hogy a kapcsolatot egyedi alkotóelemek együttesének tekintjük, a csomópontot alkotóelemekre bontjuk. Az egyes alapvető alkotóelemek mindegyike rendelkezik ellenállással és merevséggel a rá ható erőkkel - húzással, nyomással vagy nyírással – szemben. Ezt az ellenállást és merevséget az alkotóelemek viselkedését egyenként, külön-külön vizsgálva meg lehet határozni.

A csomópont viselkedését az alkotóelemek együttes viselkedése szabja meg olyan módon, hogy a csomóponti ellenállást a „leggyengébb láncszem” elve alapján a leggyengébb alkotóelem teherbírásából származtatjuk, míg az elfordulási viselkedést az alkotóelemek merevségi jellemzőiből számítjuk.

A komponensmódszer alkalmazása során a következő lépéseket kell végrehajtani:

- Ki kell választani a vizsgált csomópont aktív alkotóelemeit.
Ennek során abból indulunk ki, hogy az egyes igénybevételek a csomópont „egyik oldaláról” melyik alkotóelemeken keresztül jutnak át a csomópont „másik oldalára”.
- Meg kell határozni az egyes alkotóelemek merevségi, illetve szilárdsági jellemzőit.
Ehhez ismernünk kell az egyes alkotóelemek viselkedését. Az EC3-1-8 7. fejezete útmutatásokat ad a komponensek teherbírásának és merevségi jellemzőinek meghatározásához
- Az alkotóelemek összeállításával meg kell határozni a teljes kapcsolat merevségi, illetve szilárdsági jellemzőit.
Ez a lépés tulajdonképpen azt jelenti, hogy az egyes csomóponti alkotóelemek viselkedéséből származtatni kell a teljes csomópont viselkedését. Ehhez az egyes csomóponti alkotóelemeken működő belső erők eloszlására vonatkozó feltételezéssel kell élnünk. Az erők elosztását akár rugalmas, akár képlékeny elven elvégezhetjük oly módon, hogy az összeállítás során biztosítanunk kell a belső erők egyensúlyát a külső erőkkel.

A komponens-módszer gyakorlati alkalmazása során egyszerűsítéseket lehet és kell tenni:

- A gerendavégen működő nyomatókot erőpárrá alakítva, a húzóerőt a gerenda felső öve és gerincének felső része továbbítja, a nyomóerőt hasonlóképpen az alsó öv és alsó gerincszakasz.
- A nyíróerőt a gerenda gerince viseli.
- El kell különíteni egymástól a húzó- és nyomóerők továbbításában közreműködő alkotóelemeket a nyírás továbbításában közreműködőktől, és a két igénybevételre külön-külön kell vizsgálni azokat. Például feltesszük, hogy csavarozott homloklemez csomópontnál a felső csavarsor(ok) csak húzóerőt kapnak nyírás nélkül, míg az alsó csavarsor csak nyírásra van igénybevéve, a húzóerő átvitelében nem vesz részt.
- A nyomatókból származó hatásokat elsődlegesnek tekintjük, a csomópont méretezését erre végezzük el, a nyíróerők átvitelét ezután csak ellenőrizzük. A komponensmódszer alapján véve csak a hajlító igénybevételekkel terhelt csomópontokkal foglalkozik, a nyíróigénybevétel továbbítását csak „járulékos hatásnak” tekinti.
- A normálerővel hasonló a helyzet: a módszer alkalmazásának korlátja, hogy a becsatlakozó gerendában a normálerő ne haladja meg a normálerő-ellenállásának 5%-át.

- A hegesztési varratok rideg-képlékeny viselkedésűek. Mivel rugalmas alakváltozásuk nagyon kicsi, ezért a kapcsolat merevségi viselkedését nem befolyásolják. Nem tekintjük őket a kapcsolat alkotóelemeinek, de tönkremenetelüket megfelelő méretezéssel feltétlenül el kell kerülni.

Példaképpen tekintsük át egy hegesztett oszlop-gerenda csomópont vizsgálatának lépéseit a komponens-módszer használatával.

A KOMPONENSMÓDSZER	
Három lépés	
Első lépés: Az alkotóelemek kiválasztása	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Az oszlop nyírt gerinclemeze</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Az oszlop nyomott gerinclemeze</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Az oszlop húzott gerinclemeze</p> </div> </div>
Második lépés: Az alkotóelemek viselkedése	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> </div> </div> <p style="text-align: center;">Az egyes alkotóelemek k_i merevségi tényezője Az egyes alkotóelemek $F_{Rd,i}$ ellenállása</p>
Harmadik lépés: Az összeállítás	<p style="text-align: center;">A kapcsolat merevsége: $S_{j,ini} = E z^2 / \sum k_i$ A kapcsolat ellenállása: $M_{Rd} = \min(F_{Rd,i}) \cdot z$</p>

Hegesztett csomópont méretezésének elve a komponens-módszer alapján

A nyírás vizsgálatát elkülönítve végezzük el, a gerenda gerince és az oszlop öve közötti hegesztési varrat méretezésével.

A gerendavégen ébredő nyomatékot a gerenda felső övében húzóerőként, a gerenda alsó övében nyomóerőként kezeljük. Az erőkar (z) az övek középvonalának távolsága. Az erők továbbításában a következő alkotóelemek (komponensek) vesznek részt:

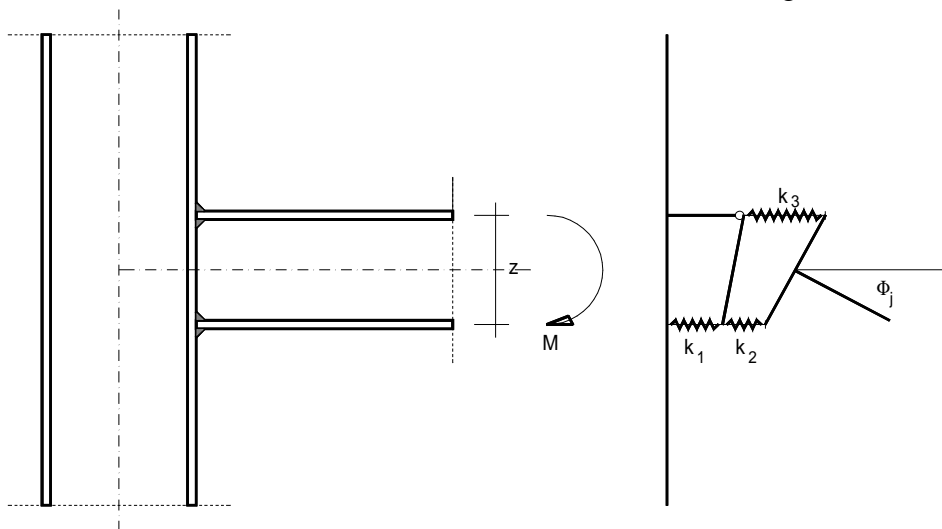
1. Az oszlop nyírt gerinclemeze (cws),
2. Az oszlop nyomott gerince (cwc),
3. Az oszlop húzott gerinclemeze (cwt).

Az alkotóelemek egyenkénti vizsgálatával meghatározzuk azok teherbírását ($F_{i,Rd}$) és merevségét (k_i).

A csomópont nyomatéki ellenállása a leggyengébb összetevő ellenállásából számítható:

$$M_{j,Rd} = F_{Rd,\min} \cdot z = \min(F_{Rd,1}; F_{Rd,2}; F_{Rd,3}) \cdot z$$

A csomópont elfordulási viselkedésének elemzését a következő modellen végezzük el:



Hegesztett csomópont mechanikai modellje

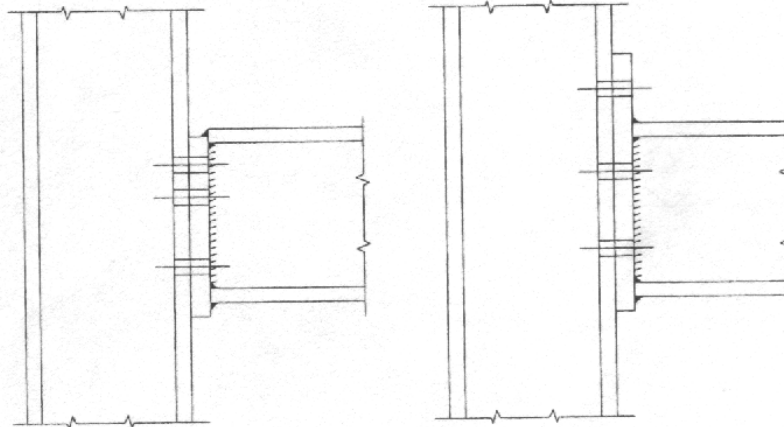
A csomópont kezdeti merevségét a következő képlet adja meg:

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\sum \frac{1}{k_i}}$$

Végül ellenőriznünk kell, hogy a gerenda övei és az oszlop öve közötti hegesztési varratok képesek a nyomatékból származó húzó- és nyomóerők biztonságos átadására, azaz el kell végeznünk ezen varratok vizsgálatát.

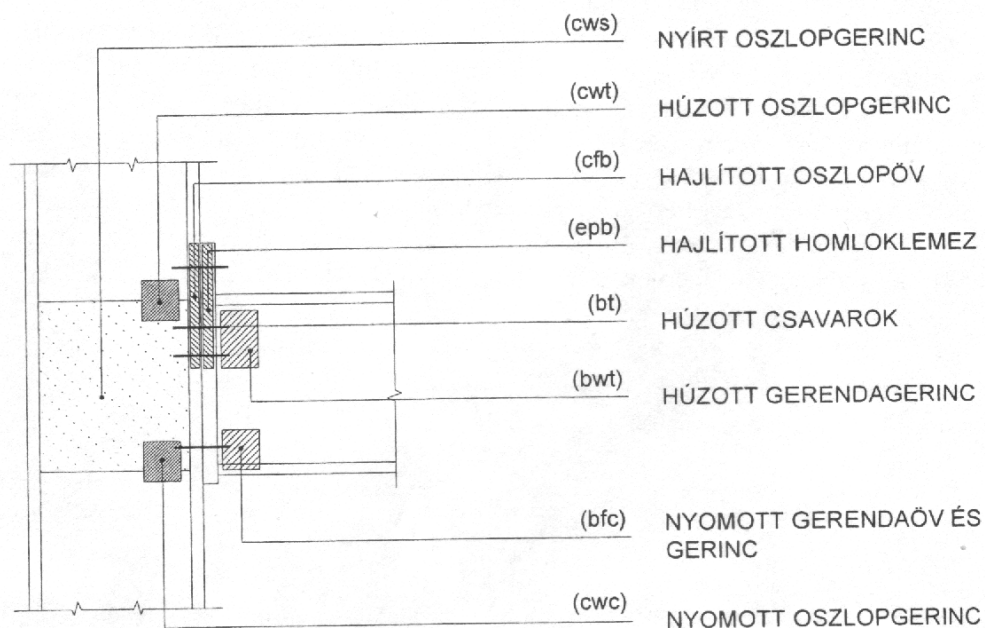
2. Oszlop-gerenda csomópontok csavarozott, homloklemezkes kapcsolattal – csomópont nyomatéki ellenállásának számítása

Oszlop-gerenda csomópontok esetén a homloklemezkes kapcsolat kialakításának jellemző típusait az alábbi ábra mutatja:



Nem túlnyúló és túlnyúló homloklemezkes oszlop-gerenda csomópont

A csomópont aktív komponensei a következők:



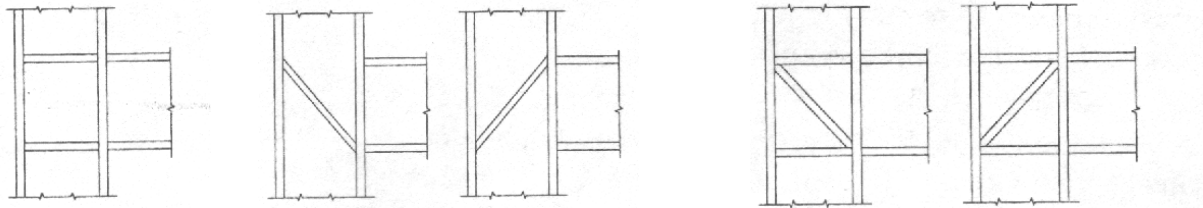
A csomópontban a gerenda végén ébredő nyíróerő az alábbi úton jut át az oszlopra:

- a gerenda gerincét a homloklemezhez kötő varrat,
- az alsó két csavar (bs).

A fenti ábra szerinti csomópontok általában félmerev besorolásúak. A csomópont merevségének fokozására és az egyes komponensek ellenállásának növelésére merevítő elemeket lehet beiktatni, az alábbiak szerint:

- A húzott illetve nyomott oszlop gerinc ellenállásának növelésére merevítőbordák (a.);
- a nyírt oszlopgerinc ellenállásának növelésére átlós merevítő bordák (b.)
- vagy a gerinclemez vastagságát növelő egy-vagy kétoldali „gerinchizláló lemez” (d.);
- a hajlított oszlop öv ellenállásának növelésére „övchizláló lemez” (e.).

Példákat mutatnak az alábbi ábrák:

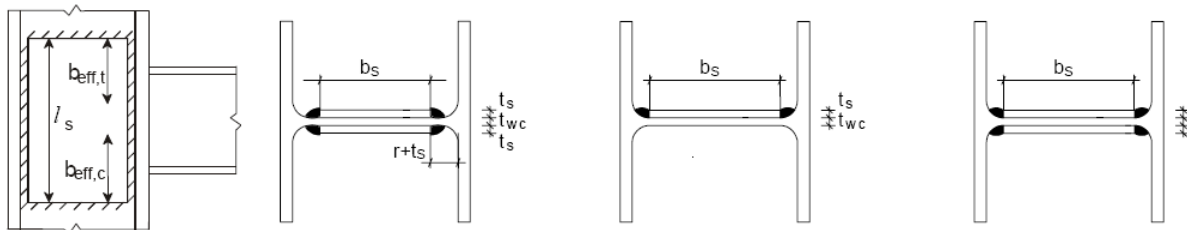


a,

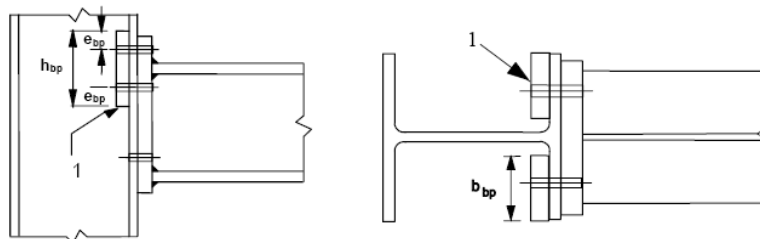
b,

c,

Merevítőbordák: a, húzott-nyomott oszlopgerinc; b, nyírt oszlopgerinc; c, mindkettő megerősítésére



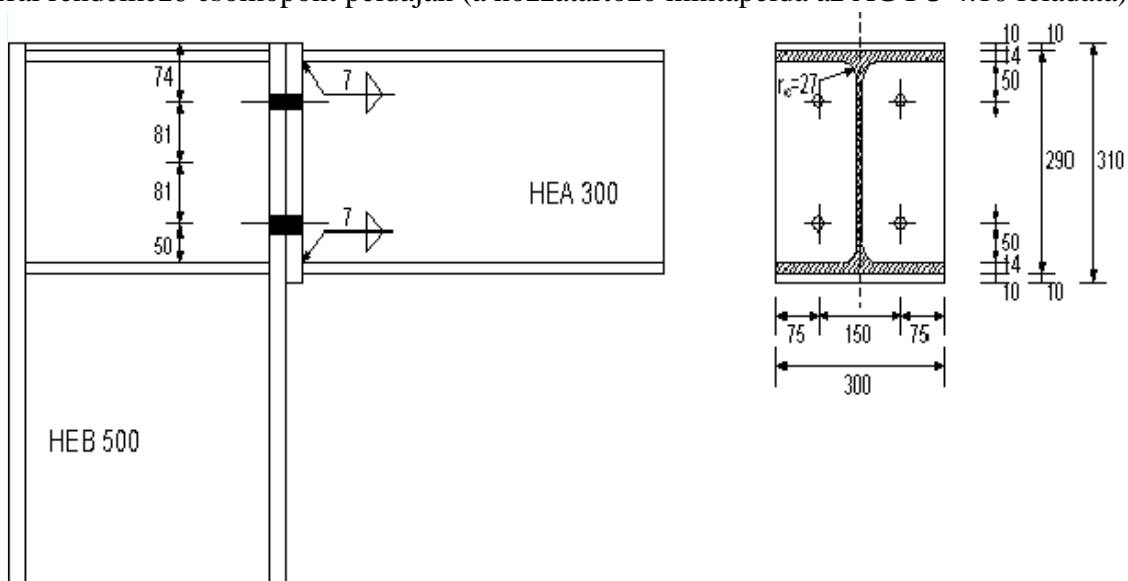
Gerinchizálás lehetőségei (d,)



Övhizlaló lemez elhelyezése (e,) (1 – övhizlaló lemez)

Az egyes komponensek ellenállását az EC1-1-8 vonatkozó pontjai alapján lehet meghatározni.

Az alábbiakban bemutatjuk néhány – egyszerűbben számolható – komponens ellenállását, egy jellemzően kialakított nem túlnyúló, a gerendaövek vonalában alul-felül merevítőbordával ellátott, alul-felül egy csavarsorral rendelkező csomópont példáján (a hozzátartozó mintapélda az AGYÚ 4.10 feladata).



Az oszlop gerincének nyírási ellenállása (cws) merevítetlen esetben a következő:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_y A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

ahol A_{vc} az oszlop gerincének nyírásra meghatározott keresztmetszeti területe.

A **húzott oszlopperinc** (cwt) ellenállásának számítása általában nagyon hosszadalmas. Merevítőbordák alkalmazása esetén, ha a merevítő borda vastagsága eléri a gerenda övének vastagságát, akkor ennek a komponensnek a vizsgálatától eltekinthetünk.

A **hajlított oszlop-öv** (cfb) és a **hajlított homloklemez** (epb) ellenállásának számítása a helyettesítő T-elem segítségével, a 3. fejezet szerint történik. Mivel most csak egy húzott csavarsorunk van, a csoportos tönkremenetel lehetőségét kizárjuk. A csavarsor mind az oszlop öve, mind a homloklemez vonatkozásában merevítés mellett helyezkedik el. Mindegyik esetben a geometriai méreteket az adott elem oldaláról nézve kell megállapítani, így a két ellenállás eltérő értékeket eredményezhet.

A **húzott csavarok ellenállását** (bt) külön nem kell ellenőrizni, mivel a T-kapcsolati modell 3. tönkremeneteli módjában tulajdonképpen a csavarszakadást vizsgáltuk.

A **húzott gerenda-gerinc** (bwt) ellenállása közelítésképpen az alábbiak vehető:

$$F_{t,bw,Rd} = b_{eff,t,w} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,w} / \gamma_{M0}$$

ahol $b_{eff,t,w}$ a gerinclemez effektív szélessége egyenlő a homloklemez ellenállásának számításakor használt egyenértékű T-modell effektív hosszával.

A **nyomott gerenda-gerinc és öv** (bfc) ellenállása egyenlőnek vehető a gerenda nyomatékai ellenállásából számítható nyomóerővel:

$$F_{c,fb,Rd} = M_{c,Rd} / (h - t_f)$$

ahol $M_{c,Rd}$ a becsatlakozó gerenda végkeresztmetszetének nyomatékai ellenállása.

A **nyomott oszlop-gerinc** (cwc) ellenállása merevítetlen esetben a szabvány előírásai szerint, de eléggé hosszadalmasan határozható meg. Ha a gerenda övével megegyező méretű merevítő bordát helyezünk el, akkor ennek a komponensnek is elhagyható az ellenőrzése.

Ezek után meg kell állapítanunk a csomóponti komponensek közül a legkisebbnek az ellenállását. Ennek során az alábbi alkotóelemek közül kell választanunk:

- a húzott zónában : min (cws, cwt, cfb, ebp, bt, bwt)
- a nyomott zónában: min (cws,cwc,bfc).

A nyomott és a húzott zónában elérhető ellenállások közül a kisebb lesz a mértékadó F_{Rd} , ebből számítható a csomópont hajlítási ellenállása:

$$M_{j,Rd} = z \cdot F_{Rd}$$

ahol z a húzott csavarsor tengelyének távolsága a nyomott öv középvonalától.

Több csavarsor alkalmazása esetén fenti eljárás úgy módosul, hogy minden csavarsorra meg kell vizsgálni a csavarsoronkénti egyedi tönkremenetelre kiszámítható ellenállást ($F_{ti,egyedi,Rd}$), majd a csavarsorok csoportos tönkremenetelének lehetőségeire is ki kell számítani ugyanezen értéket ($F_{ticsop,Rd}$). Ezután minden csavarsornál meg kell állapítani, hogy melyik ellenállási érték a kisebb, ez lesz az i -edik csavarsor ellenállása:

$$F_{ti,Rd} = \min(F_{ti,egyedi,Rd}; F_{ticsop,Rd})$$

A kompatibilitási feltétel a normálerők egyensúlya, tehát a nyomott zóna ellenállásának el kell érnie a húzott csavarsorok összes ellenállását:

$$F_{c,Rd} \geq \sum F_{ti,Rd}$$

Ha az előbbi feltétel nem teljesül, akkor a húzott csavarsorok ellenállását redukálni kell.

A csomópont nyomatéki ellenállását a húzott csavarsorok ellenállásaiból származó nyomatékok összegzése adja:

$$M_{j,Rd} = \sum h_i F_{ti,Rd}$$

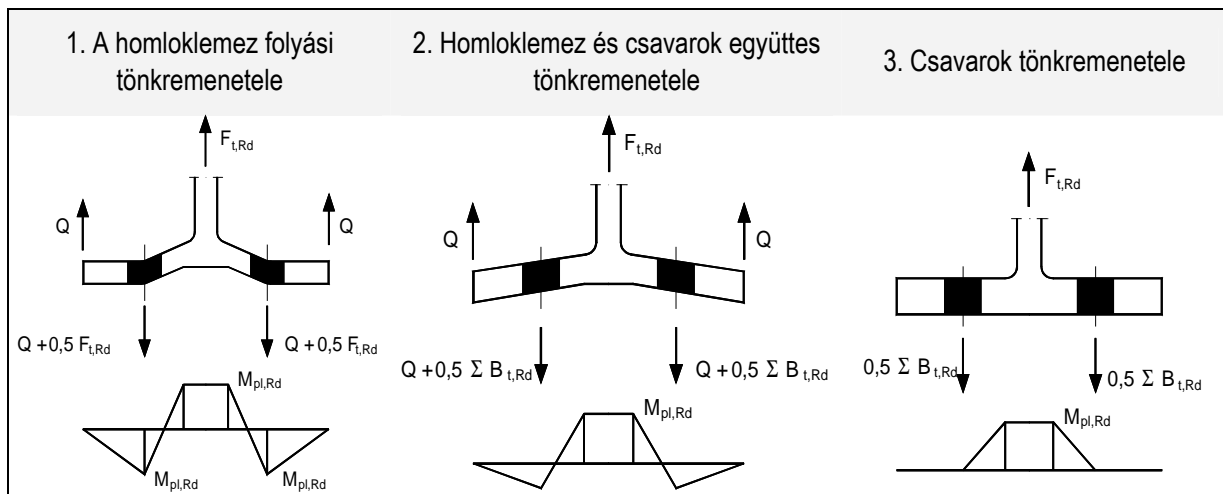
ahol h_i az i -edik húzott csavarsor tengelytávolsága a nyomott öv középvonalától.

Látható, hogy több csavarsor esetén a számításokat sokszor kell elvégezni, esetleg csak többlépcsős iterációval jutunk célhoz. Bár a szabvány számos esetre ad egyszerűsítési lehetőségeket, belátható, hogy több csavarsorral ellátott homloklemezcsatlakozás számítása kézi módszerrel nem célszerű, ehhez számítógépi programra van szükség.

3., A T-elem viselkedése

A komponensmodellben a homloklemez-csavar együttesének ellenállását a T-elem modell segítségével számítjuk ki. A T-elem két csavarral összekötött húzott homloklemez méretezésére szolgál.

A homloklemez és a csavarok jellemzőinek (geometriai méretek, anyagminőségek) függvényében a következő tönkremeneteli módok lehetségesek:



A helyettesítő T-elem húzó ellenállása az alábbi 3 érték minimuma:

1. a homloklemez folyási tönkremenetele esetén:

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$

2. a homloklemez és a csavar együttes tönkremenetele esetén:

$$F_{T,2,Rd} = \frac{M_{pl,2,Rd} + n \sum B_{t,Rd}}{m + n}$$

3. a csavar tönkremenetele esetén:

$$F_{T,3,Rd} = \sum B_{t,Rd}$$

ahol $M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$ a lemez képlékeny nyomatéki ellenállása 1. tönkremeneteli módhoz

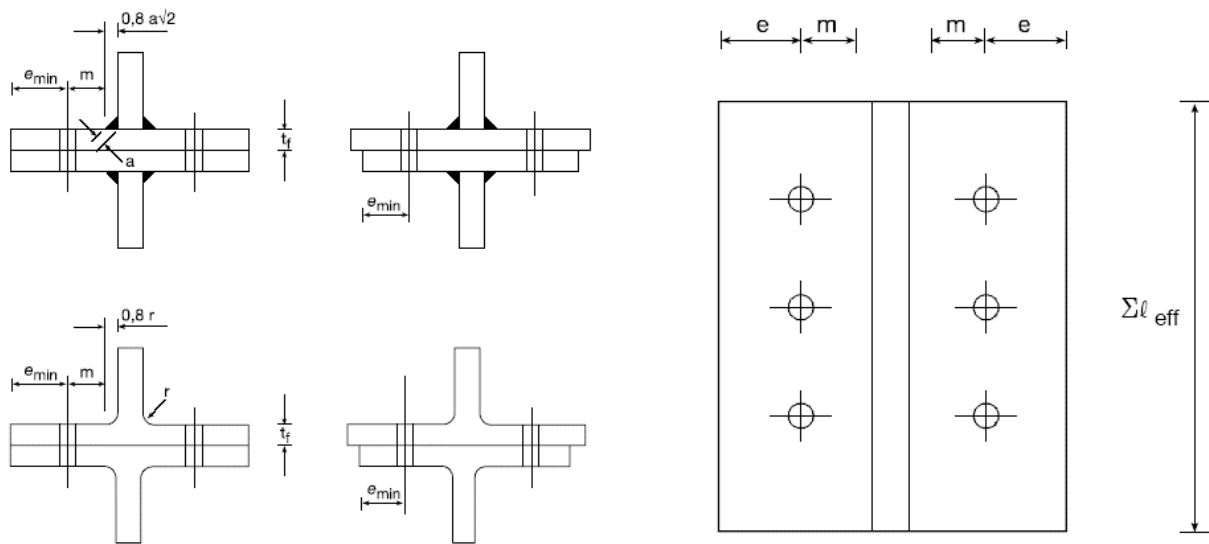
$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$ a lemez képlékeny nyomatéki ellenállása 2. tönkremeneteli módhoz

$B_{t,Rd}$ a csavarok húzó ellenállása

$n = e_{\min}$ de $n \leq 1,25 m$

m, e, n

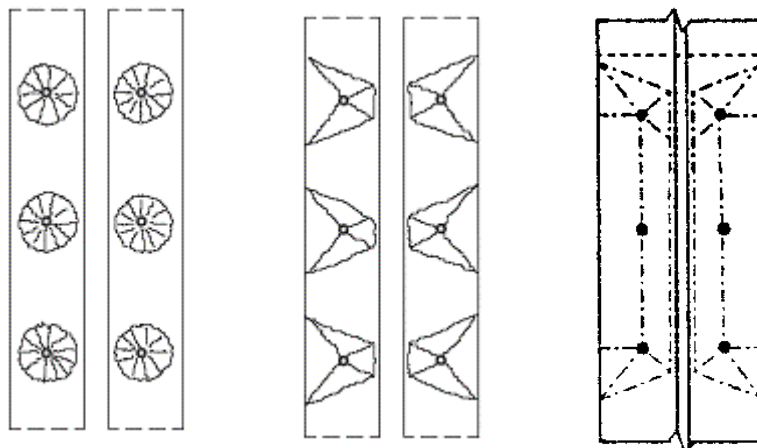
értelmezését lásd az alábbi ábrán:



A helyettesítő T-elem magasságát (Σl_{eff}) a törésképek elemzése határozza meg.

A törésképek lehetséges alakjai – és ezzel a tönkremeneteli lehetőségek:

- egyedi csavartönkremenetel, kör alakú törésképpel;
- egyedi csavartönkremenetel, nem kör alakú törésképpel;
- csoportos csavartönkremenetel.



Törésképek: egyedi kör alakú, egyedi nem kör alakú, csoportos

A helyettesítő T-elem effektív hosszainak megállapításához szükséges képletek közül csak az előző pontban szereplő homloklemez-es kapcsolat számításához szükséges képleteket mutatjuk be.

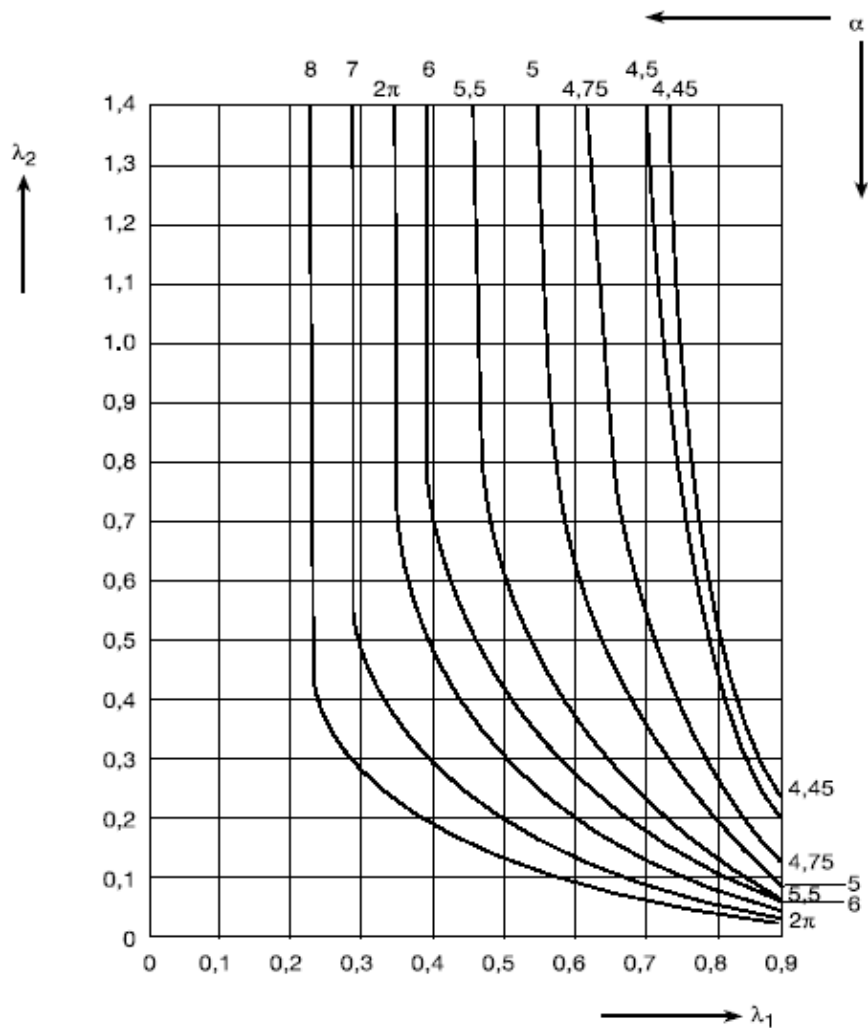
A törésképekhez tartozó effektív hosszak homloklemez esetén, az első csavarsor a gerenda öve mellett, illetve oszlopöv esetén, merevítőborda melletti első csavarsorra:

- egyedi tönkremenetel, kör alakú csavarkép: $l_{eff,c} = 2\pi m$
- egyedi tönkremenetel, nem kör alakú csavarkép: $l_{eff,nc} = \alpha m$

A helyettesítő T-elem effektív hossza az egyes tönkremeneteli módokhoz:

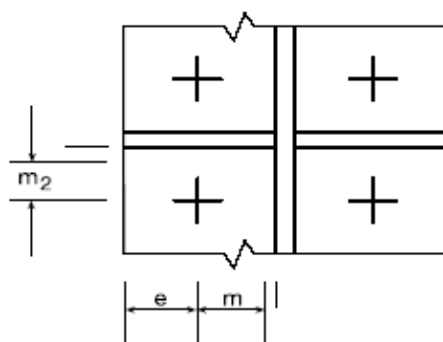
- 1. tönkremeneteli mód $l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ de $l_{eff,1} \leq l_{eff,c}$
- 2. tönkremeneteli mód: $l_{eff,2} = l_{eff,nc}$

A táblázatokban szereplő α tényezőt az alább látható diagram alapján kell felvenni.



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$



Az α tényező megállapítása