

3-4.GYAKORLAT

III. feszültségi állapot képlékeny feszültségi állapot

A vasbetonszerkezetek teherbírási határállapotban a III. feszültségi állapot feltételezésével méretezzük.

A vasbetonszerkezetek keresztmetszeti méretezési feladatai három csoportba sorolhatók:

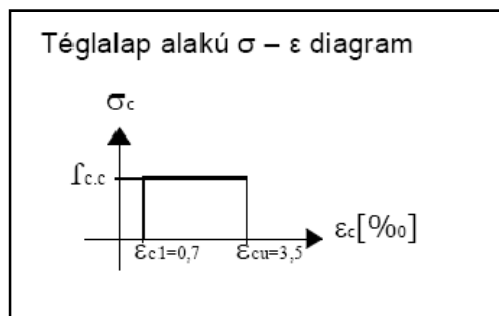
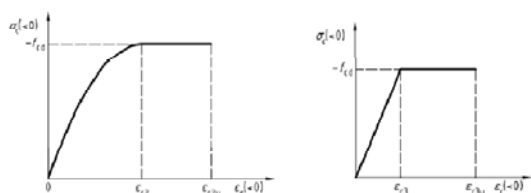
1. szabad tervezés
 - minimális betonméretek, nyomott vasalás nélkül, beton és betonacél legjobb kihasználása, keresztmetszeti méretek és anyagminőségek szabadon választhatóak
2. kötött tervezés
 - keresztmetszeti méretek és anyagminőségek adottak, lehetőleg nyomott vas nélkül
3. ellenőrzés
 - meglévő szerkezetek (vasalás, anyagminőség, méretek adottak) teherbírásának ellenőrzése adott tervezési igénybevételekre

- a terhelést tovább növelve a km. túllépi a rugalmas teherbírást, a repedések sűrűsödnek és megnyílnak, ezzel a tartó képlékeny állapotba (törési állapotba) kerül

Beton anyagmodellje:

- a betonban keletkező feszültségek parabola szerinti eloszlásúak, de számításainkban egyenletes eloszlást tételezünk fel

parabola-állandó, lineáris-állandó, téglalap alakú (C50/60-ig)

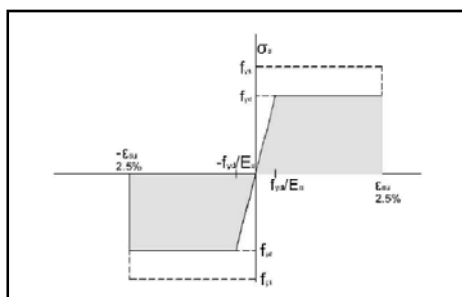


Beton szilárdságának tervezési értéke: $f_{cd} = \frac{f_{ck} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = \frac{25 \cdot 1,0}{1,5} = 16,66 \text{ N/mm}^2$ (C25/30 esetén)

$\alpha_{cc} = 1,0$ magasépítésben (0,85 hídépítésben)

Törési összenyomódás (képlékenyedés határa, határösszenyomódás) $\epsilon_{cu} = 3,5‰$

Betonacél anyagmodellje:



Betonacél folyáshatárának tervezési értéke: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,7 \text{ N/mm}^2$

Betonacél rugalmassági megnyúlásának tervezési értéke: $\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = 2,17\text{‰}$ (B500 esetén)

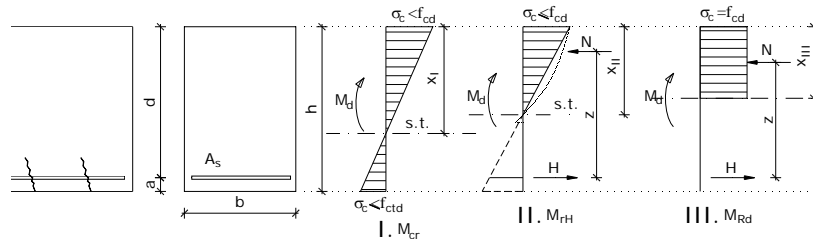
Betonacél határnyúlásának karakterisztikus értéke: $\varepsilon_{su} = 18\text{‰}$ (B500 esetén)

- a nyomott betonban és a km. szélein elhelyezett acélbetétekben egyenletesen eloszló feszültség, az elemek **határszilárdsága** működik (f_{cd} és f_{yd})

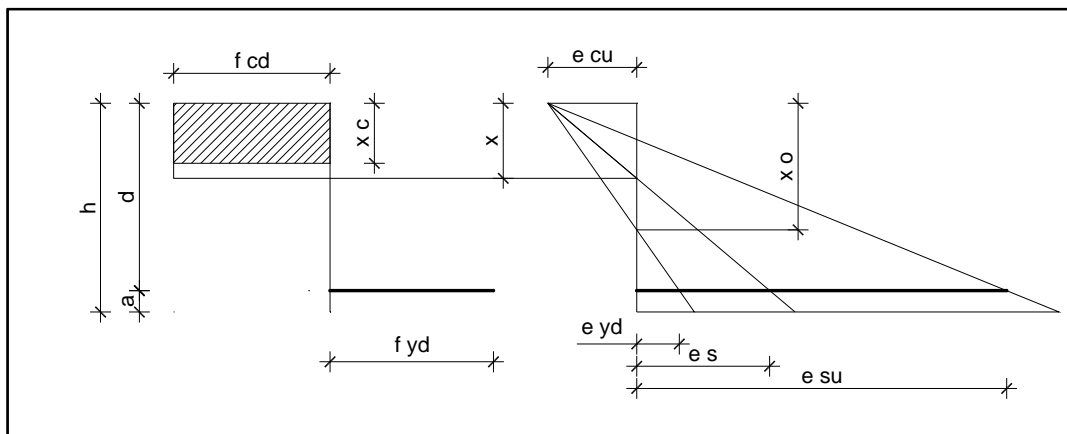
- az **alakváltozások túllépik** a rugalmas állapothoz tarozó határértéket

- itt már heterogén km.-el számolunk, az ideális km. nem értelmezhető

- a semleges tengely felfelé tolódik el, helyzete függ már a külső terheléstől is, az acél megfolyik és a beton is képlékeny állapotba kerül



- a III. fesz. állapot határát jelentő nyomaték a törőnyomaték, a törési tönkremenetel többféleképpen következhet be:



a, normálisan vasalt tartó esetén:

először az acélbetét folyik meg, a megfolyás miatt a repedések egyre jobban megnyílnak és egyre magasabbra terjednek, ezért a semleges tengely egyre feljebb kerül; így a belső erők karja nő, és a betonfeszültség rohamosan nő, amíg el nem éri a beton törőszilárdságát; a tönkremenetel a beton összemorzsolódása miatt következik be

b, gyengén vasalt tartó esetén

a betonacélok mennyisége nem éri el a szabványban előírt minimális mennyiséget; az acél olyan hirtelen folyik meg, hogy nem marad idő a repedések megnyílására és a betonfeszültség megnövekedésére, hanem az acélszálak szakadása miatt húzási rideg törés alakul ki tönkremenetel az acél rideg törése miatt; **elkerülhető szerk. szabályok betartásával**

c, túlvasalt tartó esetén

km.-ben túl sok acélbetét, először a beton kerül képlékeny állapotba; a nyomott öv a terhelés növekedésével együtt nő; a teljes nyomott betonöv összemorzsolódása és tönkremenetele ilyenkor egyszerre és roppanásszerűen következik be még azt megelőzően, hogy a betonacélok megfolytak volna; tönkremenetel beton rideg törése miatt, **szerkesztési szabályokkal elkerülhető**



- **szerkesztési szabályok** betartása → normálisan vasalt tartó, de a húzott acélbetétek csak akkor folynak meg, ha a nyomott betonöv x_{III} magassága nem nagyobb a szabványban előírt $x_o = \xi_o \cdot h$ értéknél ξ_o (táblázatból is lehet)

- x_{co} a nyomott betonzóna magasságának határhelyzete, ha $x_c \leq x_{co}$ ($\xi < \xi_o$) akkor $\sigma_s = f_{yd}$ egyébként ha $x_c > x_{co}$ akkor $\sigma_s = (560/\xi) - 700 < f_{yd}$

$\xi_c = \frac{x_c}{d}$
a relatív nyomott betonzóna magassága

$\xi_{c0} = \frac{560}{f_{yd} + 700}$ a relatív nyomott betonzóna magasságának határhelyzete

Ha $\xi < \xi_o$, akkor a betonacél megfolyik a törés pillanatában

Ha $\xi > \xi_o$, akkor a betonacél rugalmas állapotban van a törés pillanatában, RIDEGTÖRÉS!!

1. Négyzög keresztmetszet kötött tervezése III. feszültségi állapotban (normálisan vasalt)

$$M_{Ed} = 105 \text{ kNm}$$

Anyagjellemzők:

BETON: C20/25

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ N/mm}^2$$

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

BETONACÉL: B500

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\xi_0 = 0,49$$

Feltételezés: $\phi 20$ hosszvas, $\phi 8$ kengyel

$$c_{nom} = 25 \text{ mm}$$

$$a = c_{nom} + \Phi_k + \frac{\Phi_f}{2} = 25 + 8 + \frac{20}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$d = h - a = 370 - 43 = 327 \text{ mm}$$

Szükség van-e nyomott vasalásra? (M_0 : az a max. nyomaték amit a km. nyomott vasalás nélkül fel tud venni)

$$x_{co} = \xi_0 \cdot d = 0,49 \cdot 327 = 160,2 \text{ mm}$$

nyomatéki egyenlet húzott vasak súlypontjára:

$$M_0 = b \cdot x_{co} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{co}}{2} \right) = 250 \cdot 160,2 \cdot 13,33 \cdot \left(327 - \frac{160,2}{2} \right) = 131861279 \text{ Nmm} = 131,86 \text{ kNm}$$

$$M_0 = 131,86 \text{ kNm} > M_{Ed} = 105 \text{ kNm} \rightarrow \text{nincs szükség nyomott vasalásra}$$

x_{III} meghatározása: nyomatéki egyenlet húzott vasak súlypontjára:

$$M_{Ed} = N \cdot z = b \cdot x_{III} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{III}}{2} \right)$$

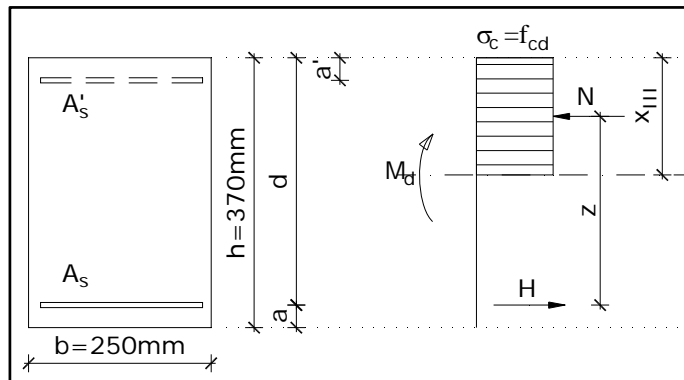
$$-b \cdot f_{cd} \cdot \frac{x_{III}^2}{2} + b \cdot x_{III} \cdot f_{cd} \cdot d - M_{Ed} = 0$$

$$\frac{x_{III}^2}{2} - d \cdot x_{III} + \frac{M_{Ed}}{b \cdot f_{cd}} = 0$$

$$x_{III} = \frac{d \pm \sqrt{(-d)^2 - 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{M_{Ed}}{b \cdot f_{cd}}}}{2 \cdot \frac{1}{2}} = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot \frac{M_{Ed}}{b \cdot f_{cd}}} = 327 - \sqrt{327^2 - 2 \cdot \frac{105 \cdot 10^6}{250 \cdot 13,3}} = 117,4 \text{ mm}$$

$$x_{III} = 117,4 \text{ mm} < x_0 = 160,2, \text{ vagyis a betonacélok megfolynak.}$$

A_s meghatározása, vetületi egyenlet:



$$N = H$$

$$b \cdot x_{III} \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

$$A_{s,szüks} = \frac{b \cdot x_{III} \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{250 \cdot 117,4 \cdot 13,3}{434,78} = 900,12 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,alk} = 3\phi 20 = 3 \cdot \frac{20^2 \cdot \pi}{4} = 942,5 \text{ mm}^2$$

Elférnek-e a vasak?

$$a_{\min} = \max \begin{pmatrix} \Phi_f \\ 20 \text{ mm} \\ d_g + 5 \text{ mm} \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 20 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \\ 16 + 5 \text{ mm} \end{pmatrix} = 21 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = 2 \cdot (c_{\text{nom}} + \Phi_k) + 3 \cdot \Phi_f + 2 \cdot a_{\min} = 2 \cdot (25 + 8) + 3 \cdot 20 + 2 \cdot 21 = 168 \text{ mm} < b = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{elférnek a vasak}$$

2. Négyzög keresztmetszet ellenőrzése III. feszültségi állapotban (normálisan vasalt)

$$a_{\text{tényl}} = c_{\text{nom}} + \Phi_k + \frac{\Phi_f}{2} = 25 + 8 + \frac{20}{2} = 43 \text{ mm}$$

$$d_{\text{tényl}} = h - a = 370 - 43 = 327 \text{ mm}$$

Minimális és maximális vasmenyiség ellenőrzése:

$$A_{s,\min} = \rho_{\min} \cdot b_t \cdot d = 1,5\% \cdot 250 \cdot 327 = \frac{1,5}{1000} \cdot 250 \cdot 327 = 122,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 250 \cdot 370 = 3700 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min} = 122,6 < A_s = 942,5 < A_{s,\max} = 3700$$

Vetületi egyenlet a nyomott betonzóna magasságának számítására:

$$N = H$$

$$b \cdot x_{III} \cdot f_{cd} = A_{s,alk} \cdot f_{yd} \text{ (azt feltételezzük, hogy a betonacélok megfolynak)}$$

$$x_{III} = \frac{A_{s,alk} \cdot f_{yd}}{b \cdot f_{cd}} = \frac{942,5 \cdot 434,78}{250 \cdot 13,33} = 122,9 \text{ mm} < x_{c0} = \xi_0 \cdot d = 0,49 \cdot 327 = 160,2 \text{ mm},$$

tehát a betonacélok tényleg megfolynak.

A betonacélok megnyúlásának számítása közvetlenül:

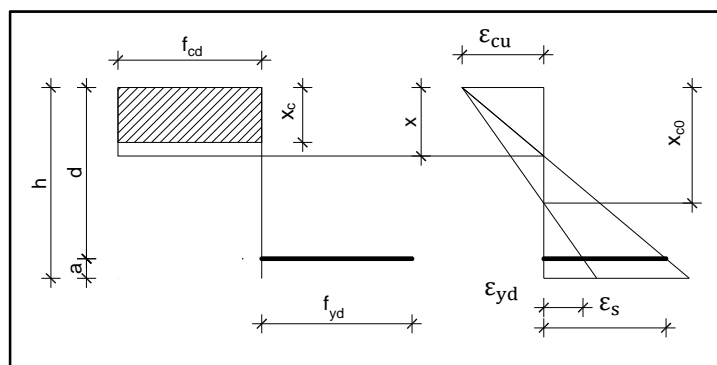
A semleges tengely helye:

$$x = \frac{x_c}{0,8} = \frac{122,9}{0,8} = 153,6 \text{ mm}$$

Háromszögek hasonlósága miatt:

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x} = \frac{\varepsilon_s}{d-x}$$

A betonacélok megnyúlása:





$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu}}{x} \cdot (d - x) = \frac{3,5 \text{ ‰}}{153,6} \cdot (327 - 153,6) = 3,95 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200000} = 2,17 \text{ ‰}$$

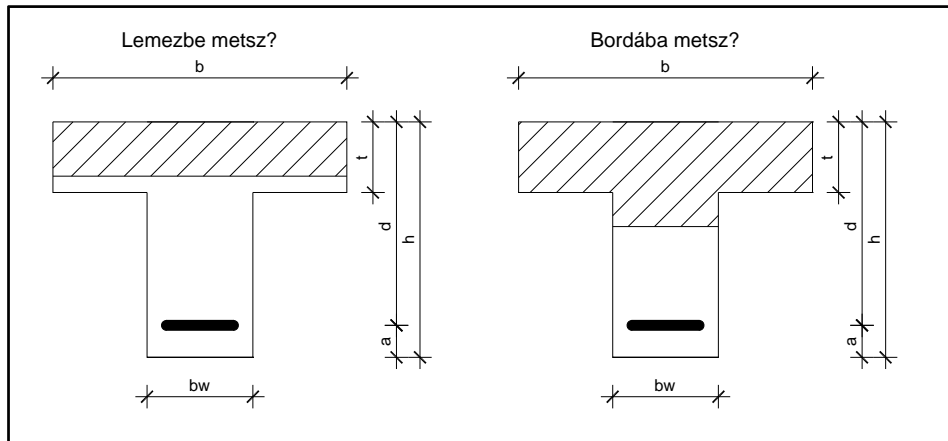
$$\varepsilon_s = 3,95 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$$

Itt is látszik, hogy a betonacélok átlélik a rugalmassági határt, vagyis megfolyznak.

Nyomatéki teherbírás, törőnyomaték számítása:

$$M_{Rd} = b \cdot x_{III} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{III}}{2} \right) = 250 \cdot 122,9 \cdot 13,33 \cdot \left(327 - \frac{122,9}{2} \right) = 108759786 \text{ Nmm} = 108,8 \text{ kNm} > M_{Ed}$$
$$= 105 \text{ kNm}$$

3. T-keresztmetszet tervezése III. feszültségi állapotban (fejlemezbe metsz)



$$M_{Ed} = 240 \text{ kNm}$$

Anyagjellemzők:

BETON: C20/25

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ N/mm}^2$$

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

BETONACÉL: B500

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\xi_0 = 0,49$$

$$h = 460 \text{ mm}$$

$$t = 130 \text{ mm}$$

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$b_w = 180 \text{ mm}$$

Feltételezés: két sorban $\phi 20$ hosszvas, $\phi 8$ kengyel

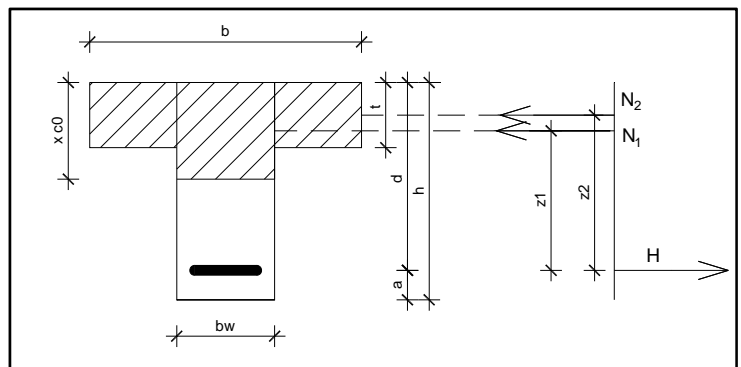
$$c_{nom} = 25 \text{ mm}$$

$$a_{feltételezett} = c_{nom} + \Phi_k + \Phi_f + \frac{\Phi_f}{2} = 25 + 8 + 20 + \frac{20}{2} = 63 \text{ mm}$$

$$d = h - a = 460 - 63 = 397 \text{ mm}$$

Szükség van-e nyomott vasalásra? (M_0 : az a max. nyomaték amit a km. nyomott vasalás nélkül fel tud venni)

$x_{co} = \xi_0 \cdot d = 0,49 \cdot 397 = 196 \text{ mm} > t = 130 \text{ mm}$, vagyis a nyomott betonzóna határmagassága a bordába metsz.



Nyomatéki egyenlet húzott vasak súlypontjára:

$$M_0 = (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{t}{2}\right) + b_w \cdot x_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{c0}}{2}\right) \\ = (500 - 180) \cdot 130 \cdot 13,3 \cdot \left(397 - \frac{130}{2}\right) + 180 \cdot 196 \cdot 13,3 \cdot \left(397 - \frac{196}{2}\right) = 324 \text{ kNm}$$

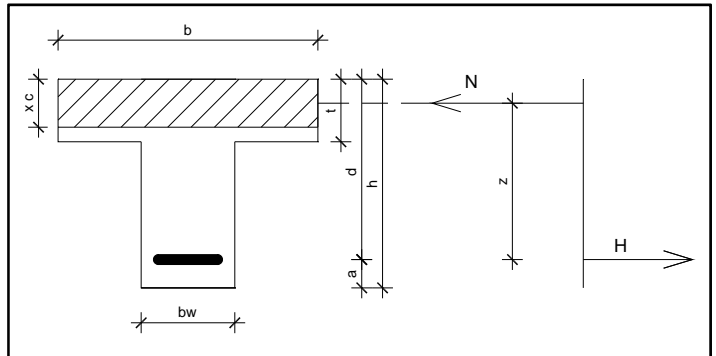
$M_0 = 324 \text{ kNm} > M_{Ed} = 240 \text{ kNm} \rightarrow$ nincs szükség nyomott vasalásra

A fejelemz által felvehető nyomaték:

$$M_{fl} = b \cdot t \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{t}{2}\right) = 500 \cdot 130 \cdot 13,3 \cdot \left(397 - \frac{130}{2}\right) = 287 \text{ kNm} > M_{Ed} = 240 \text{ kNm,}$$

vagyis a nyomott betonozóna a fejelemzbe metsz!

Ha a nyomott betonozóna a fejelemzbe metsz, akkor a következő tervezési lépések ugyanazok, mint a négyszög keresztmetszetű tartónál.



x_{III} meghatározása: nyomatéki egyenlet húzott vasak súlypontjára:

$$M_{Ed} = N \cdot z = b \cdot x_{III} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{III}}{2}\right)$$

$$x_{III} = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot \frac{M_{Ed}}{b \cdot f_{cd}}} = 397 - \sqrt{397^2 - 2 \cdot \frac{240 \cdot 10^6}{500 \cdot 13,3}} = 104 \text{ mm}$$

$x_{III} = 104 \text{ mm} < x_0 = 196$, vagyis a betonacélok megfolynak.

$x_{III} = 104 \text{ mm} < t = 130$, vagyis a nyomott betonozóna valóban a fejelemzbe metsz.

A_s meghatározása, vetületi egyenlet:

$$N = H$$

$$b \cdot x_{III} \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

$$A_{s,szüks} = \frac{b \cdot x_{III} \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{500 \cdot 104 \cdot 13,3}{434,78} = 1601 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,alk} = 6\emptyset 20 = 1885 \text{ mm}^2$$

Elférnek-e a vasak egy sorban?

$$a_{\min} = \max \begin{pmatrix} \Phi_f \\ 20 \text{ mm} \\ d_g + 5 \text{ mm} \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 20 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \\ 16 + 5 \text{ mm} \end{pmatrix} = 21 \text{ mm}$$

$b_{\min} = 2 \cdot (c_{\text{nom}} + \Phi_k) + 6 \cdot \Phi_f + 5 \cdot a_{\min} = 2 \cdot (25 + 8) + 6 \cdot 20 + 5 \cdot 21 = 291 \text{ mm} < b = 180 \text{ mm} \rightarrow$ nem férnek el a vasak!

Rakjuk őket két sorba:

$b_{\min} = 2 \cdot (c_{\text{nom}} + \Phi_k) + 3 \cdot \Phi_f + 2 \cdot a_{\min} = 2 \cdot (25 + 8) + 3 \cdot 20 + 2 \cdot 21 = 168 \text{ mm} < b = 180 \text{ mm} \rightarrow$ elférnek a vasak!

Ellenőrzés:

$$a_{\text{tényl}} = c_{\text{nom}} + \Phi_k + \Phi_f + \frac{a_{\text{min}}}{2} = 25 + 8 + 20 + \frac{21}{2} = 63,5 \text{ mm}$$

$$d_{\text{tényl}} = h - a = 460 - 63,5 = 397 \text{ mm}$$

$$x_{c0} = \xi_0 \cdot d = 0,49 \cdot 397 = 196 \text{ mm}$$

Vetületi egyenlet a nyomott betonzóna magasságának számítására:

$$N = H$$

$$b \cdot x_{\text{III}} \cdot f_{\text{cd}} = A_{\text{s,alk}} \cdot f_{\text{yd}} \text{ (azt feltételezzük, hogy a betonacélok megfolynak)}$$

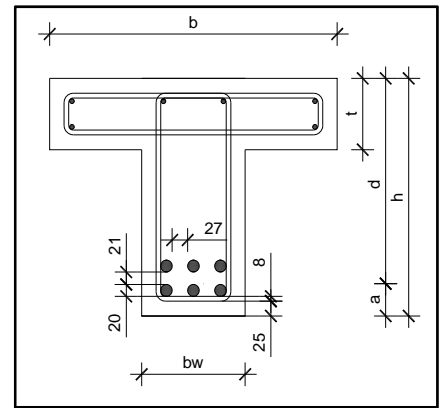
$$x_{\text{III}} = \frac{A_{\text{s,alk}} \cdot f_{\text{yd}}}{b \cdot f_{\text{cd}}} = \frac{1885 \cdot 434,78}{500 \cdot 13,33} = 123 \text{ mm} < x_{c0} = 196 \text{ mm} ,$$

tehát a betonacélok tényleg megfolynak.

$x_{\text{III}} = 123 \text{ mm} < t = 130 \text{ mm}$, vagyis a nyomott betonzóna valóban a fejlemezbe metsz.

Nyomatéki teherbírás, törőnyomaték számítása:

$$M_{\text{Rd}} = b \cdot x_{\text{III}} \cdot f_{\text{cd}} \cdot \left(d - \frac{x_{\text{III}}}{2} \right) = 500 \cdot 123 \cdot 13,33 \cdot \left(397 - \frac{123}{2} \right) = 275 \text{ kNm} > M_{\text{Ed}} = 240 \text{ kNm}$$



4. T-keresztmetszet tervezése III. feszültségi állapotban (bordába metsz)

$$M_{Ed} = 1200 \text{ kNm}$$

Anyagjellemzők:

BETON: C25/30

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ N/mm}^2$$

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

BETONACÉL: B500

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$$

$$\xi_0 = 0,49$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$t = 150 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$b_w = 450 \text{ mm}$$

Feltételezés: két sorban $\phi 25$ hosszvas, $\phi 10$ kengyel

$$c_{nom} = 25 \text{ mm}$$

$$a_{feltételezett} = c_{nom} + \Phi_k + \Phi_f + \frac{\Phi_f}{2} = 25 + 10 + 25 + \frac{25}{2} = 72,5 \text{ mm} \cong 73 \text{ mm}$$

$$d = h - a = 600 - 73 = 527 \text{ mm}$$

Szükség van-e nyomott vasalásra? (M_0 : az a max. nyomaték amit a km. nyomott vasalás nélkül fel tud venni)

$x_{co} = \xi_0 \cdot d = 0,49 \cdot 527 = 260 \text{ mm} > t = 150 \text{ mm}$, vagyis a nyomott betonzóna határmagassága a bordába metsz.

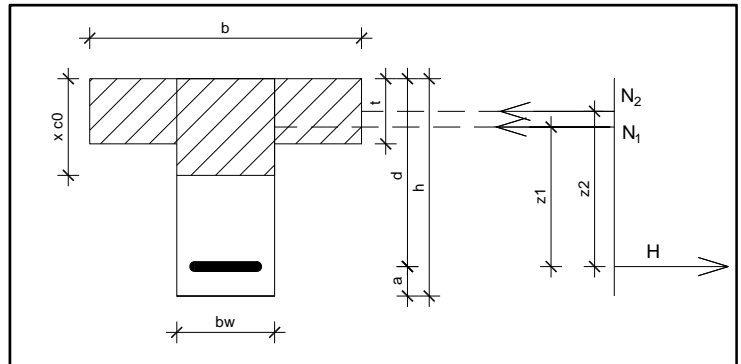
Nyomatéki egyenlet húzott vasak súlypontjára:

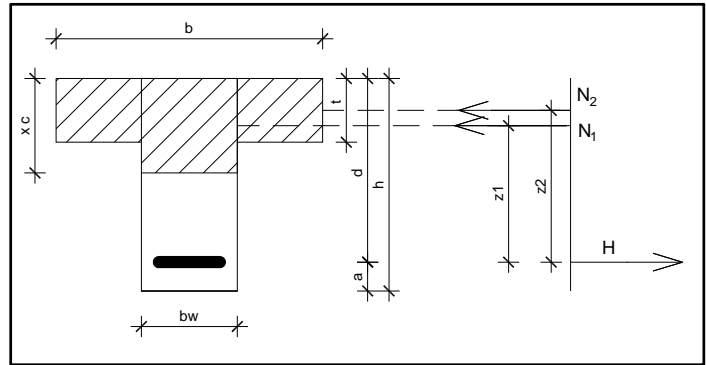
$$\begin{aligned} M_0 &= (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{t}{2}\right) + b_w \cdot x_{co} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{co}}{2}\right) \\ &= (1000 - 450) \cdot 150 \cdot 16,67 \cdot \left(527 - \frac{150}{2}\right) + 450 \cdot 260 \cdot 16,67 \cdot \left(527 - \frac{260}{2}\right) = 1396 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_0 = 1396 \text{ kNm} > M_{Ed} = 1200 \text{ kNm} \rightarrow \text{nincs szükség nyomott vasalásra}$$

A fejelemz által felvehető nyomaték:

$$M_{fl} = b \cdot t \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{t}{2}\right) = 1000 \cdot 150 \cdot 16,67 \cdot \left(527 - \frac{150}{2}\right) = 1130 \text{ kNm} < M_{Ed} = 1200 \text{ kNm}, \text{ vagyis a nyomott betonzóna a bordába metsz!}$$





A keresztmetszet szélei által felvett nyomaték:

$$M_{sz} = (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{t}{2}\right) = (1000 - 450) \cdot 150 \cdot 16,67 \cdot \left(527 - \frac{150}{2}\right) = 622 \text{ kNm}$$

A bordára jutó terhelés:

$$M_b = M_{Ed} - M_{sz} = 1200 - 622 = 579 \text{ kNm}$$

Szükség van-e nyomott vasalásra? (M_{b0} : az a max. nyomaték amit a borda nyomott vasalás nélkül fel tud venni)

$$M_{b0} = b_w \cdot x_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{c0}}{2}\right) = 450 \cdot 260 \cdot 16,67 \cdot \left(527 - \frac{260}{2}\right) = 774 \text{ kNm}$$

$$M_{b0} = 774 \text{ kNm} > M_b = 579 \text{ kNm} \rightarrow \text{nincs szükség nyomott vasalásra}$$

x_{III} meghatározása: nyomatéki egyenlet húzott vasak súlypontjára:

$$M_b = N_1 \cdot z = b_w \cdot x_{III} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{III}}{2}\right)$$

$$x_{III} = d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot \frac{M_b}{b_w \cdot f_{cd}}} = 527 - \sqrt{527^2 - 2 \cdot \frac{579 \cdot 10^6}{450 \cdot 16,67}} = 176 \text{ mm}$$

$x_{III} = 176 \text{ mm} < x_0 = 196$, vagyis a betonacélok megfolynak.

$x_{III} = 176 \text{ mm} > t = 150$, vagyis a nyomott betonzóna valóban a bordába metsz.

A_s meghatározása, vetületi egyenlet:

$$N_1 + N_2 = H$$

$$b_w \cdot x_{III} \cdot f_{cd} + (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

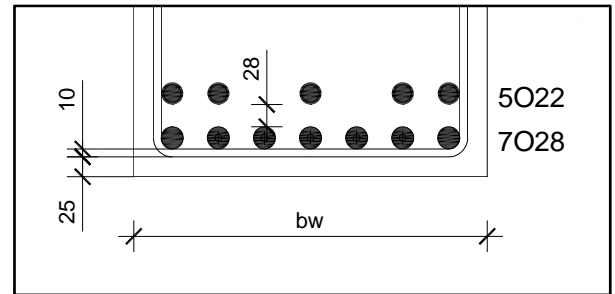
$$A_{s,szüks} = \frac{b_w \cdot x_{III} \cdot f_{cd} + (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{450 \cdot 176 \cdot 16,67 + (1000 - 450) \cdot 150 \cdot 16,67}{434,78} = 6192 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,alk} = \text{két sorban } 7\emptyset 28 + 5\emptyset 22 = 4310 + 1901 = 6211 \text{ mm}^2$$

$$a_{\min} = \max \begin{pmatrix} \Phi_f \\ 20 \text{ mm} \\ d_g + 5 \text{ mm} \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 28 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \\ 16 + 5 \text{ mm} \end{pmatrix} = 28 \text{ mm}$$

$$b_{\min} = 2 \cdot (c_{\text{nom}} + \Phi_k) + 6 \cdot \Phi_f + 5 \cdot a_{\min} = 2 \cdot (25 + 10) + 7 \cdot 28 + 6 \cdot 28 = 434 \text{ mm} < b = 450 \text{ mm} \rightarrow \text{elférnek a vasak}$$

Ellenőrzés:



A két sorban elhelyezett vasak súlyponti helyének ($a_{tényl}$) meghatározása:

$$A_{s,alk} = \text{két sorban } 7\varnothing 28 + 5\varnothing 22 = 4310 + 1901 = 6211 \text{ mm}^2$$

$$a_{tényl} = \frac{7\varnothing 28 \cdot (c_{nom} + \Phi_k + \frac{\Phi_{f1}}{2}) + 5\varnothing 22 \cdot (c_{nom} + \Phi_k + \Phi_{f1} + a_{min} + \frac{\Phi_{f2}}{2})}{A_{s,alk}} =$$

$$\frac{4310 \cdot (25 + 10 + \frac{28}{2}) + 1901 \cdot (25 + 10 + 28 + 28 + \frac{22}{2})}{6211} = 65,2 \text{ mm} \cong 65 \text{ mm}$$

$$d_{tényl} = h - a_{tényl} = 600 - 65 = 535 \text{ mm}$$

$$x_{c0} = \xi_0 \cdot d = 0,49 \cdot 535 = 264 \text{ mm}$$

Vetületi egyenlet a nyomott betonzóna magasságának számítására:

$$N_1 + N_2 = H$$

$$b_w \cdot x_{III} \cdot f_{cd} + (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd} = A_s \cdot f_{yd}$$

$$x_{III} = \frac{A_{s,alk} \cdot f_{yd} - (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd}}{b_w \cdot f_{cd}} = \frac{6211 \cdot 434,78 - (1000 - 450) \cdot 150 \cdot 16,67}{450 \cdot 16,67} = 177 \text{ mm} < x_{c0} = 264 \text{ mm},$$

tehát a betonacélok tényleg megfolynak.

$x_{III} = 177 \text{ mm} > t = 150 \text{ mm}$, vagyis a nyomott betonzóna valóban a bordába metsz.

Nyomatéki teherbírás, törőnyomaték számítása:

$$M_{Rd} = (b - b_w) \cdot t \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{t}{2}\right) + b_w \cdot x_{III} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{III}}{2}\right)$$

$$= (1000 - 450) \cdot 150 \cdot 16,67 \cdot \left(535 - \frac{150}{2}\right) + 450 \cdot 177 \cdot 16,67 \cdot \left(535 - \frac{177}{2}\right) = 1224 \text{ kNm}$$

$$> M_{Ed} = 1200 \text{ kNm}$$