

TARTÓSZERKEZETEK II.

VASBETONSZERKEZETEK

2009.02.12.

VASBETONSZERKEZETEK

Eurocode szerint

- ❑ Beton:
- ❑ Megnevezés, jelölés:
 - ❑ C30/37–XC3-24-képlékeny-MSZ4798-1:2004
- ❑ Szilárdsági osztályok C16/20 - C90/105
- ❑ Tartóssági követelmények
 - ❑ környezeti osztályok
 - ❑ minimális betonszilárdsági osztályok
 - ❑ minimális betonfedés
- ❑ Időtől függő anyagjellemzők
 - ❑ szilárdságok kialakulása
 - ❑ zsugorodás
 - ❑ kúszás

Beton

- Megnevezés: C30/37–X0-24-F3
 - X0: Környezeti osztály
 - 24: maximális szemnagyság
 - F3: konzisztencia

Konzisztencia jellege az MSZ 4714-3:1986 szabvány szerint	Konzisztencia osztályok az MSZ EN 206-1:2001 honosított európai szabvány szerint			
	Roskadási osztály	Területi osztály	VEBE osztály	Tömörítési osztály
(Alig földnedves)				C0*
Földnedves	S1	F1*	V0*	C1
			V1	
Kissé képlékeny		F2	V2	C2
			V3	
Képlékeny	S2	F3		C3
			V4*	
	S3	F4		
Folyós	S4	F5		
	S5*	F6*		

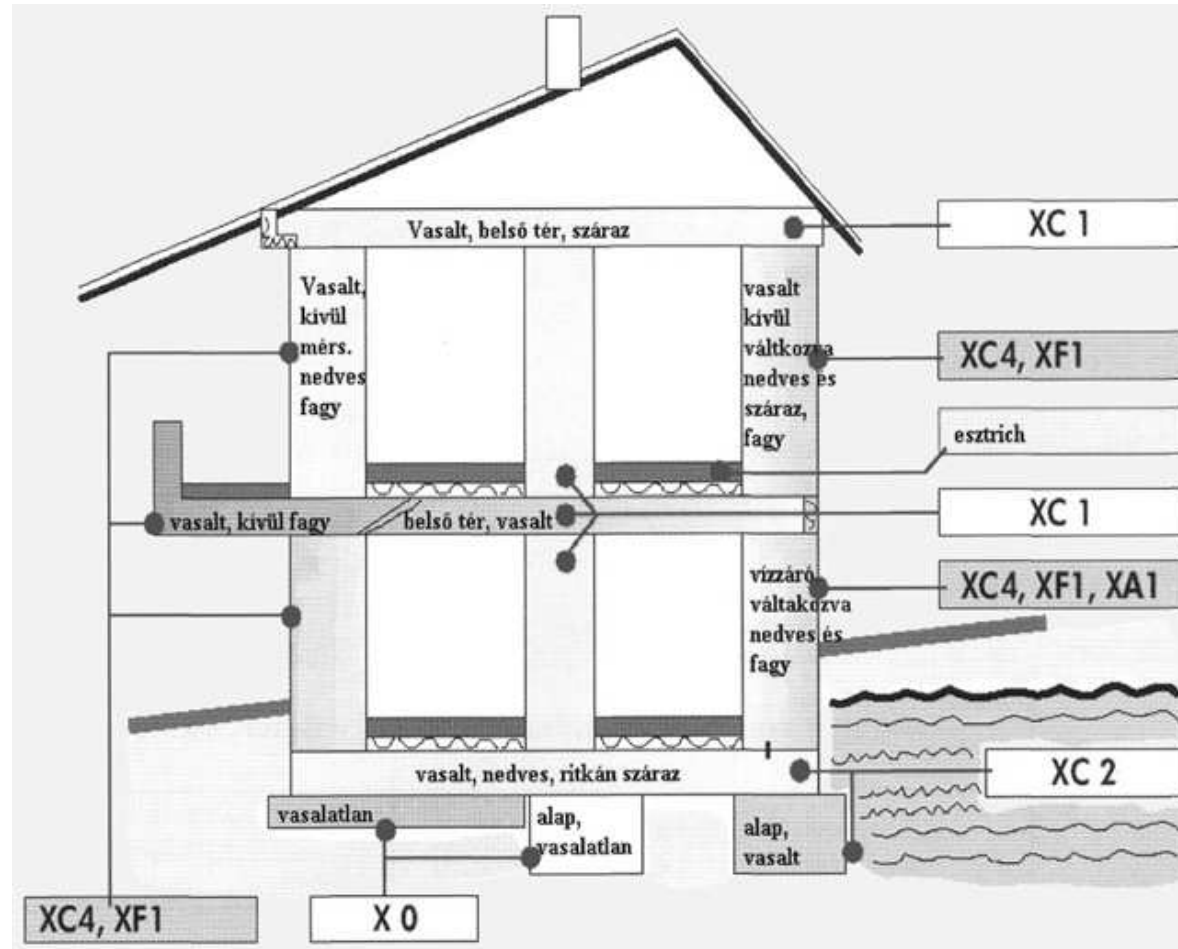
Tartósság - környezeti osztályok

- X0 nincs korróziós kockázat
- XC karbonátosodás okozta korrózió
- XS tengervízből származó klorid okozta korrózió
- XD klorid okozta korrózió
- XF fagyás-olvadás okozta korrózió
- XA agresszív környezet okozta korrózió

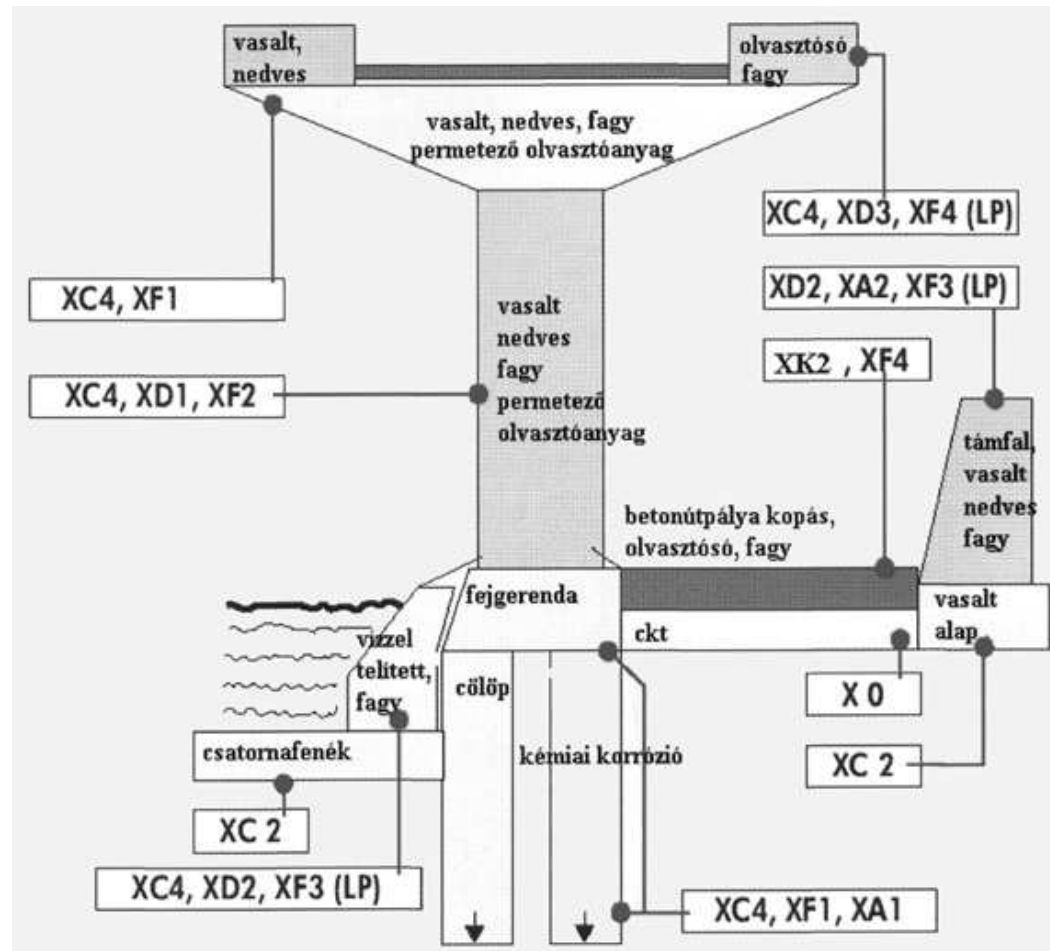
Tartósság - környezeti osztályok

Jelölés	A környezeti hatás leírása	Tájékoztató példák a környezeti osztályok előfordulására
Nincs korróziós kockázat		
X0	Vasbeton vagy beágyazott fémeket tartalmazó beton esetén: nagyon száraz	Nagyon csekély, <i>legfeljebb 35%</i> relatív páratartalmú épületben lévő vasbeton
Karbonátosodás okozta korrózió		
XC1	Száraz vagy tartósan nedves	Csekély relatív páratartalmú épületben lévő beton. Állandóan víz alatt lévő beton
XC2	Nedves, ritkán száraz	Hosszú időn át vízzel érintkező betonfelületek
XC3	Mérsékelt nedvesség	Mérsékelt, vagy nagy relatív páratartalmú épületekben lévő beton. Esőtől védett, szabadban lévő beton
Nem a tengervízből származó kloridok által okozott korrózió		
XD1	Mérsékelt nedvesség	A levegőből származó kloridnak kitett, <i>de jégolvasztó sóknak ki nem tett</i> beton
XD2	Nedves, ritkán száraz	Úszómedencék. Kloridokat tartalmazó ipari vizeknek kitett, <i>de jégolvasztó sóknak ki nem tett</i> beton
XD3	Váltakozva nedves és száraz	Kloridot tartalmazó permetnek kitett hídelemek. Járdák és útburkolatok. Autóparkolók födémei
Fagyási/olvadási korrózió jégolvasztó anyaggal vagy anélkül		
XF1	Mérsékelt víztelítettség jégolvasztó anyag nélkül	Függőleges betonfelületek esőnek és fagynak kitéve
XF3	Nagymérvű víztelítettség jégolvasztó anyag nélkül	Esőnek és fagynak kitétt vízszintes betonfelületek
Kémiai korrózió		
XA1	Enyhén agresszív kémiai környezet az <i>3M2.2. táblázat</i> szerint	Természetes talajok és talajvíz
XA2	Mérsékeltén agresszív kémiai környezet az <i>3M2.2. táblázat</i> szerint	Természetes talajok és talajvíz
XA3	Nagymértékben agresszív kémiai környezet az <i>3M2.2. táblázat</i> szerint	Természetes talajok és talajvíz

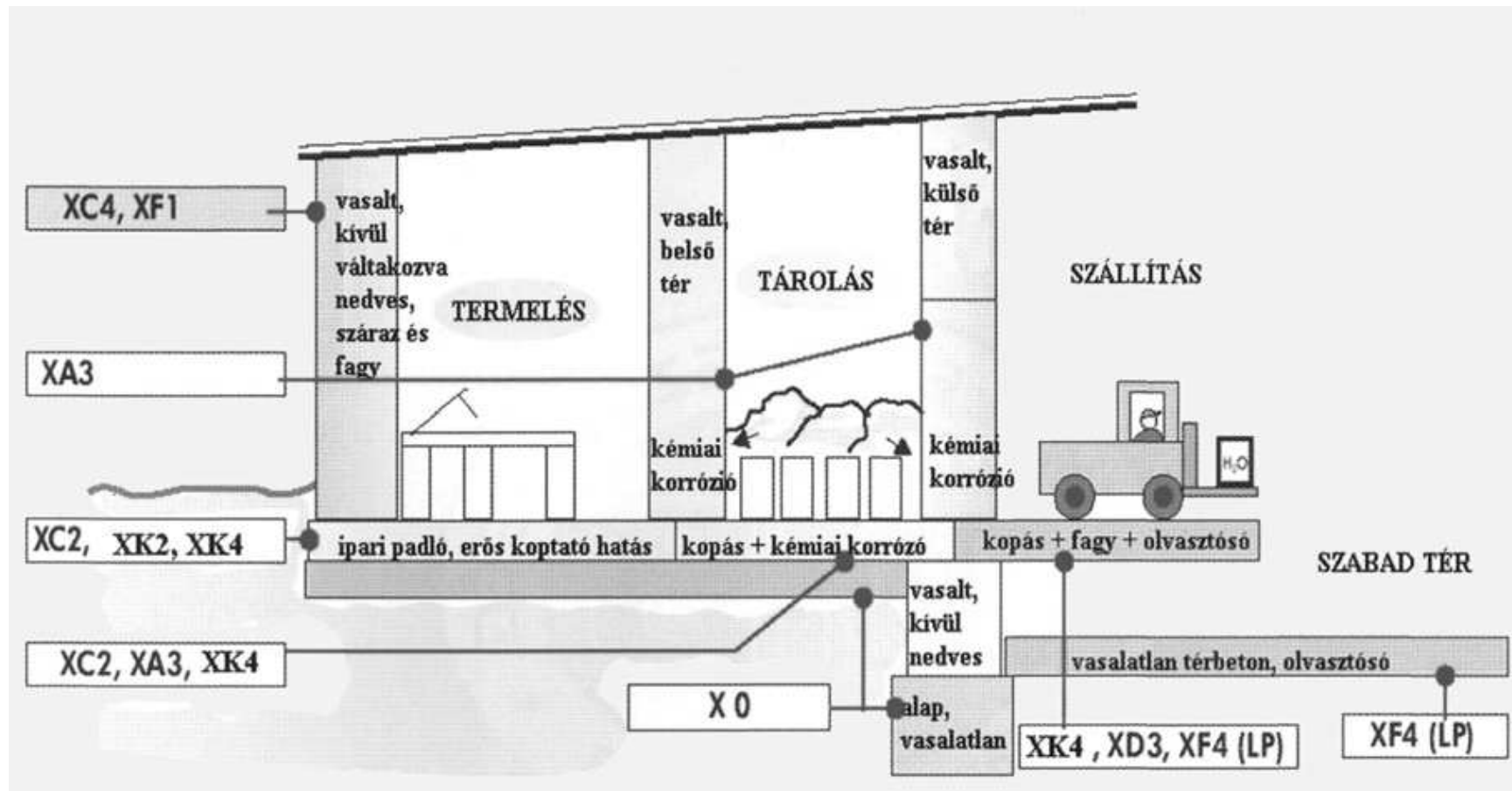
környezeti osztályok – magasépítés



környezeti osztályok – mélyépítés



környezeti osztályok – ipari építmények



Tartósság - minimális betonszilárdsági osztályok

Minimális betonszilárdsági osztályok

Környezeti osztály											
Korróziós kockázat											
	Karbonátosodás okozta korrózió				Nem a tengervízből származó kloridok által okozott korrózió			Tengervízből származó klorid-korrózió			
Környezeti osztály jele	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	
Minimális szilárdsági osztály	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45		
Korróziós kockázat											
	Nincs korróziós kockázat				Fagyási/olvadási korrózió jégolvasztó anyaggal vagy anélkül			Kémiai korrózió			
Környezeti osztály jele	X0				XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Minimális szilárdsági osztály	C16/20				C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C30/37		C35/45

Tartósság - minimális betonfedés

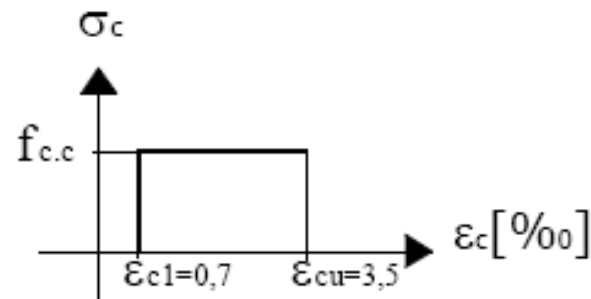
- $c_{\min} = \max(c_{\min,b}; c_{\min,dur}; 10\text{mm})$
- $c_{\min,b}$ – tapadáshoz szükséges min.betonfedés, betonacélátmérő (\emptyset)
- $c_{\min,d}$ - tartósság miatt szükséges betonfedés, a környezeti osztály függvénye

A $c_{\min,d}$ [mm] értéke betonacél esetén						
Környezeti osztály						
X0	XC1	XC2, XC3, XF1	XF3	XD1	XD2	XD3
10	15	25	30	35	40	45

Beton szilárdsági anyagjellemzői

Szilárdsági jel	C16/20	C20/25	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105
f_{ck} [N/mm ²]	16	20	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ [N/mm ²]	20	25	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} [N/mm ²]	24	28	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} [N/mm ²]	1,9	2,2	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0,05}$ [N/mm ²]	1,3	1,5	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
E_{cm} (GPa)	29	30	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ε_{cu3} (‰)	3,5							3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

Téglalap alakú $\sigma - \varepsilon$ diagram



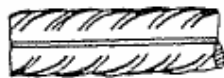
Beton szilárdsági anyagjellemzői

- f_{ck} a 28 napos korban meghatározott nyomószilárdság (5%-os alulmaradási valószínűséghez tartozó) karakterisztikus értéke $\phi 150/300$ mm hengeren mérve,
- $f_{ck,cube}$ a 28 napos korban meghatározott nyomószilárdság (5%-os alulmaradási valószínűséghez tartozó) karakterisztikus értéke 150 mm élhosszúságú kockán mérve,
- f_{ctm} a húzószilárdság várható értéke 28 napos korban,
- $f_{ctk,0,05}$ a húzószilárdság 5%-os alulmaradási valószínűséghez tartozó értéke 28 napos korban,
- E_{cm} a beton rugalmassági (a $\sigma_c = 0$ és $\sigma_c = 0,4f_{cm}$ pontokat összekötő húrnak megfelelő) modulusa 28 napos korban (várható érték),
- ε_{cu3} a beton egyszerűsített (téglalap vagy trapéz alakú) σ - ε diagramjához tartozó törési összenyomódás [%]-ben.

Betonacélok jellemzői

A betonacélok jellemzőit az alábbi táblázatban adjuk meg:

		Általános betonacél			Csak hegesztett hálókhoz	
EC		B 500	B 400	B 240	B 500	
MSZ		B 60.50 B 75.50	B 55.40 B 60.40*	B 38.24	BHB55.50	BHS55.50 C15
f_{yk}	N/mm ² (MPa)	500	400	240	500	500
f_{yd}		435	348	209	435	435
ϵ_{uk}	‰	25	25	25	15	15
ϕ	mm	8-40	8-40	6-40	4,2 - 5,5	4,2-12
felület		csavarbordás	nyílbordás	sima	bordás	sima
hegeszthetőség		a	c	a	b	b
E_s	kN/mm ² (GPa)	200	200		200	
ξ_{co}		0.49	0.53	0.62	0.49	0.49
ξ'_{co}		2.11	1.59	1.14	2.11	2.11



csavarbordás
betonacél
(B.60.50)

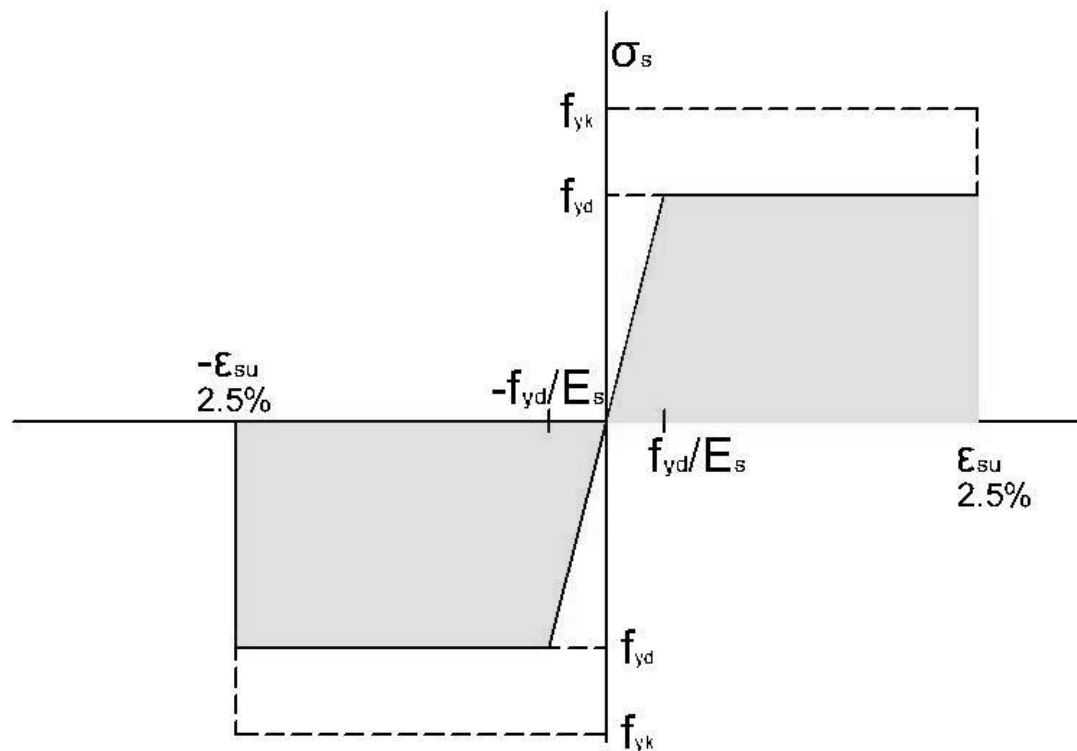


nyílbordás
betonacél
(B.60.40)

Betonacélok jellemzői

- $E_s = 200\text{kN/mm}^2$ az acél rugalmassági modulusa
- Az acélok határnyúlásának karakterisztikus értéke minden betonacélra legalább $\epsilon_{uk} = 5\%$.
- A fenti táblázatokban:
- f_{yk} – a betonacél folyáshatárának karakterisztikus értéke. A kifejezett folyáshatárral nem rendelkező acéloknál a 0,2%-os maradó nyúlást okozó feszültség
- ϵ_{uk} - az acél határnyúlásának karakterisztikus értéke,
- $\xi_{co} = 560/(700 + f_{yd})$ - a relatív nyomott betonzóna-magasság határhelyzete, annak eldöntésére, hogy a húzott acélbetétek folynak-e,
- $\xi'_{co} = 560/(700 - f_{yd})$ - a relatív nyomott betonzóna-magasság határhelyzete annak eldöntésére, hogy a nyomott acélbetétek folynak-e

Betonacélok jellemzői



A betonacél $\sigma - \epsilon$ diagramja

A szilárdságok tervezési értékei

□ A szilárdságok tervezési értékei

□ Beton

□ $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$ $\alpha_{cc} = 1,0$ vagy $0,85$ (hidak)

□ $f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk}, 0,05 / \gamma_c$ $\alpha_{ct} = 1,0$

□ $\alpha_{cc} = \alpha_{ct} = 0,8$ (vasalatlan v. gyengén vasalt szerkezet)

□ Betonacél

□ $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

Határállapotok vizsgálata

Teherbírási határállapotok:

- Hajlítás
- Külpontos nyomás
- Nyírás
- Csavarás
- Átszűrődás

Használhatósági határállapotok

- ❑ Normálfeszültségek korlátozása (irreverzibilis határállapotok megelőzése) – **karakterisztikus komb.**
 - ❑ képlékeny alakváltozások megelőzése az acélokban
 - ❑ túlzott nyomófeszültségek miatti hosszirányú repedések megelőzése a betonban
- ❑ Repedésmentesség, dekompresszió vagy rep.korlátozás – **gyakori v. kvázi-állandó kombináció**
 - ❑ megfelelő tartósság
 - ❑ vizuális megjelenés
- ❑ Alakváltozások korlátozása – **kvázi-állandó komb.**
 - ❑ csatlakozó szerkezetek károsodásának megelőzése
 - ❑ vizuális megjelenés
 - ❑ fenntartási problémák megelőzése (pl. vízelvezetés)

A szilárdságok tervezési értékei

- Beton

- $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$ $\alpha_{cc} = 1,0$ vagy $0,85$ (hidak)
 - (ENV $\alpha_{cc} = 0,85$)

- $\gamma_c = 1,5$

- Betonacél

- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$

- $\gamma_s = 1,15$

Erőtani számítás

- Erőtani számítás elve:
 - Használhatósági határállapotban:
 - igénybevételek meghatározása lineárisan rugalmas elven
 - lineáris $\sigma - \varepsilon$ diagramok
- Teherbírási határállapotokban
 - igénybevételek meghatározása lineárisan rugalmas elven
 - lineárisan rugalmas elven, korlátozott igénybevétel-átrendeződés figyelembevételével
 - képlékeny szakaszt tartalmazó $\sigma - \varepsilon$ diagramok

Határállapotok

- Teherbírási határállapotok
 - Hajlítás
 - Külpontos nyomás
 - Nyírás
 - Csavarás
 - Átszűrődás
- Használhatósági határállapotok
 - Repedéstágasság
 - Alakváltozás

VASBETON KERESZTMETSZET TEHERBÍRÁSÁNAK SZÁMÍTÁSA

➤ Hajlításvizsgálat:

- A keresztmetszet teherbírása megfelelő ha hajlított km. esetén:
 - $M_{Ed} \leq M_{Rd}$
 - Ahol M_{Ed} a hajlítónyomaték tervezési értéke (mértékadó nyomaték*) amelyet a hatások (terhek) tervezési értékéből határozzunk meg.
 - M_{Rd} a nyomatéki teherbírás tervezési értéke (határnyomaték*)

Hajlításvizsgálat:

- A vasbeton keresztmetszet kimerülése bekövetkezhet:
 1. I. a beton húzószilárdságának elérése (I. feszültségi állapot)
 2. II. a beton nyomó vagy az acél húzószilárdságának elérése (II. feszültségi állapot)
 3. III. a keresztmetszet alakváltozó képességének kimerülése (III. feszültségi állapot)

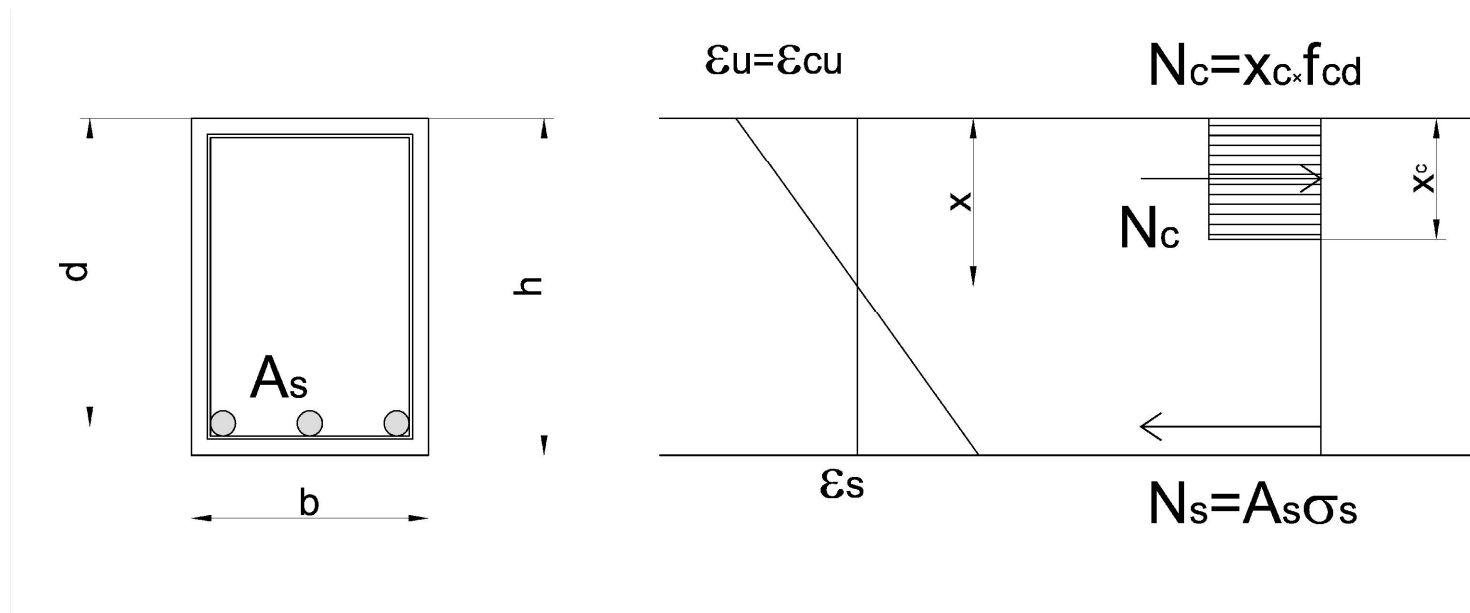
Hajlításvizsgálat:

- I. feszültségi állapot: repedésmentes állapot
 - az anyagok rugalmasan viselkednek
- II. feszültségi állapot: berepedt állapot, de az anyagok rugalmasan viselkednek
 - a betonban csak nyomófeszültséget veszünk figyelembe
- III. feszültségi állapot: törési állapot
 - tönkremenetel alakváltózó képesség kimerülése :
 - a betonban elértük a törési összenyomódás ϵ_u értéket
 - vagy az acélban a nyúlás eléri a szakadónyúlás ϵ_s értéket

Hajlításvizsgálat:

- Vizsgálat III. feszültségi állapotban
- A keresztmetszet vizsgálatát a III. feszültségi állapotban a következő számítási, egyszerűsítő alapfeltevések alapján végezzük el:
- Érvényes a Bernoulli-Navier-féle feltétel, vagyis a hajlítás előtti sík keresztmetszetek hajlítás után is síkok maradnak
- A betont ideálisan képlékeny anyagnak tekintjük
- Az acélt ideálisan rugalmas-képlékeny anyagnak tekintjük
- A nyomott beton szélső szálában az ε_{cu} törési összenyomódás (határösszenyomódás) lép fel.
- A keresztmetszetben a széleken elhelyezett betonacélban az f_{yd} ill. az $-f_{yd}$ feszültség keletkezik, ha a betonacél megfolyik, ha nem, akkor a $\sigma_s < f_{yd}$, ill. $\sigma_s < -f_{yd}$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA



Tegyük fel, hogy a nyomott szélső szálban:

$$\epsilon_c = \epsilon_{cu}$$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

Vetületi egyenlet: $N_c = N_s$

azaz: $x_c b f_{cd} = A_s \sigma_s$

Nyomatéki egyenlet (a betonacél súlypontjára):

$$M_{Rd} = b x_c f_{cd} \left(d - \frac{x_c}{2} \right)$$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

Az előző egyenletekben x_c a dolgozó betonzóna magassága, amely hasonló háromszögek alapján:

$$\frac{x}{\varepsilon_{cu}} = \frac{x - x_c}{\varepsilon_{c1}}$$

ebből:

$$x_c = \left(1 - \frac{\varepsilon_{c1}}{\varepsilon_{cu}}\right) x = \left(1 - \frac{0,70 \text{‰}}{3,50 \text{‰}}\right) x = 0,80x$$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- Az acélban létrejövő feszültség σ_s , amely:
 - Ha az acél rugalmas: $\sigma_s = \varepsilon_s E_s$
 - Ha az acél folyási állapotban van: $\sigma_s = f_{yd}$
- **1A.** Tegyük fel, hogy az acél folyási állapotban van:

Vetületi egyenletből:

$$x_c = \frac{A_s f_{yd}}{b f_{cd}}$$

Nyomatéki egyenlet:

$$M_{Rd} = b x_c f_{cd} \left(d - \frac{x_c}{2} \right)$$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

Az acélban keletkező nyúlás:

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

Az acél folyik ha: $\varepsilon_s > \frac{f_{yd}}{E_s}$

Figyelembe véve, hogy $x=x_c/c$

$$\varepsilon_s = -\varepsilon_{cu} \left(\frac{cd}{x_s} - 1 \right) > \frac{f_{yd}}{E_s}$$

Az acél folyásának feltétele:

$$\frac{x_c}{d} < \frac{c(-\varepsilon_{cu})E_s}{f_{yd} + (-\varepsilon_{cu})E_s}$$

Behelyettesítve $\varepsilon_{cu} = -3,5\text{‰}$,
 $c=0,8$ és $E_s = 200000\text{N/mm}^2$

$$\xi_c = \frac{x_c}{d} < \frac{560}{f_{yd} + 700}$$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- Ha a számításból az adódik, hogy $\xi_c < \xi_{c0}$ akkor helyes volt az **1A.** pont elején a feltételezés, hogy az acél folyik.
- **1B.** tegyük fel, hogy az acél rugalmas állapotban van, ekkor:

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = -\varepsilon_{cu} \left(\frac{cd}{x_s} - 1 \right) E_s$$

behelyettesítve
$$\sigma_s = \frac{560}{\xi_c} - 700$$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

A vetületi egyenlet: $\xi_c dbf_{cd} = A_s \left(\frac{560}{\xi_c} - 700 \right)$

Ebből: $\xi_c^2 + \frac{700 A_s}{db f_{cd}} \xi_c - \frac{560 A_s}{db f_{cd}} = 0$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- Az egyenlet pozitív gyökéből a betonzóna magassága számítható: $x_c = \xi_c d$
- Majd számítható a keresztmetszet határnyomatéka M_{Rd} is.

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- Ha az adódott, hogy az acél képlékeny állapotban van, akkor meg kell vizsgálni, hogy az acél nyúlása nem lépi-e túl a határnyúlást.
- Ha $\varepsilon_s > \varepsilon_{su}$ akkor a az acél előbb elszakad, mint ahogy a keresztmetszet nyomott szélső szálában létrejönne a beton törési összenyomódása $|\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu}|$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- Tegyük fel, hogy a tönkremenetel pillanatában az acélbetétben $\varepsilon_s = \varepsilon_{su}$ nyúlás jön létre (**2.**).

Ekkor a vetületi egyenlet: $x_c b_c f_{cd} = A_s f_{yd}$

Amelyből x_c meghatározható, a nyomatéki egyenlet:

$$M_{rd} = b_w x_c f_{cd} \left(d - \frac{x_c}{2} \right)$$

Ebben az esetben $1,25x \neq x_c$!

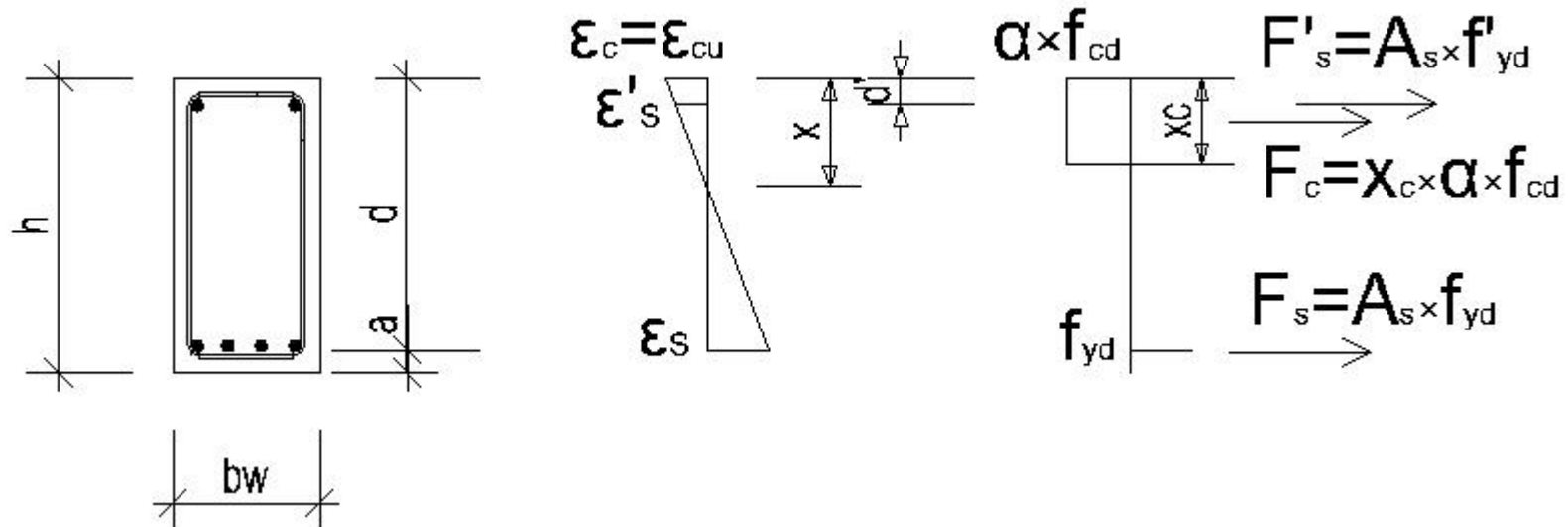
EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- Azokat a keresztmetszeteket, ahol a tönkremenetel pillanatában
 - Az acélbetét elszakad, mielőtt a beton nyomott szélső szálában létrejönne a határösszenyomódás, **gyengén vasalt** keresztmetszeteknek nevezzük. (2. eset)
 - Az acél folyási határállapotban van, a betonban létrejön a törési összenyomódás, **normálisan vasalt** keresztmetszeteknek nevezzük (1A eset)
 - Az acél rugalmas állapotban van a betonban pedig létrejön a törési összenyomódás, **túlvasalt** keresztmetszeteknek nevezzük. (1B eset)
 - Akkor normálisan vasalt a keresztmetszet ha,
 - $0,3 \sim 0,4\% < \rho < 1,5 \sim 2,5\%$ ahol ρ a vashányad $\rho = A_s / bd$

EGYSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- A normálisan és gyengén vasalt keresztmetszet esetén a keresztmetszet tönkremenetelét megelőzi a betonacél megfolyása. Ezt nevezzük duktilis keresztmetszetnek.
- Túlvasalt keresztmetszet esetén a keresztmetszet képlékenyedés nélkül megy tönkre, ridegen viselkedik – kerülendő!

KÉTSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA



KÉTSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

Vetületi egyenlet:

$$F_c = F_s - F'_s$$

azaz:

$$x_c b_c \alpha f_{cd} = A_s \sigma_s + A'_s \sigma'_s$$

feltételezve:

$$\sigma_s = f_{yd}, \text{ és } \sigma'_s = f'_{yd},$$

ekkor:

$$x_c = \frac{A_s f_{yd} - A'_s f'_{yd}}{b_c \alpha f_{cd}}$$

Határnyomaték:

$$M_{Rd} = b x_c \alpha f_{cd} \left(d - \frac{x_c}{2} \right) + A'_s f'_{yd} (d - d')$$

KÉTSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

Vizsgáljuk meg, hogy az acélok folyási állapotban vannak-e, az acélok nyúlása:

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

$$\varepsilon'_s = -\varepsilon_{cu} \frac{d'-x}{x}$$

A húzott ill. nyomott acél folyik, ha:

$$\varepsilon_s > \frac{f_{yd}}{E_s}$$

$$\varepsilon'_s < -\frac{f'_{yd}}{E_s}$$

KÉTSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

Behelyettesítve:

$$\frac{x_s}{d} < \frac{c(-\varepsilon_{cu})E_s}{f_{yd} + (-\varepsilon_{cu})E_s}$$

$$\frac{x_s}{d'} > \frac{c(-\varepsilon_{cu})E_s}{-f'_{yd} + (-\varepsilon_{cu})E_s}$$

Behelyettesítve $\varepsilon_{cu} = -3,5\text{‰}$, $c = 0,8$ és $E_s = 200000\text{N/mm}^2$

$$\xi_c = \frac{x_c}{d} < \frac{560}{f_{yd} + 700}$$

$$\xi'_c = \frac{x_c}{d'} < \frac{560}{-f'_{yd} + 700}$$

KÉTSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

$$\xi_{co} = \frac{560}{f_{yd} + 700}$$

$$\xi'_{co} = \frac{560}{-f'_{yd} + 700}$$

Az acél húzásra megfolyik, ha $\xi_c < \xi_{co}$, és nyomásra megfolyik ha

$\xi'_c > \xi'_{co}$. Ha ez nem teljesül akkor a húzott és a nyomott acélok közül az egyik rugalmas állapotban van. A rugalmas állapotban lévő acél feszültsége:

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s = -\varepsilon_{cu} \left(\frac{cd}{x_c} - 1 \right) E_s$$

$$\sigma'_s = \varepsilon'_s E_s = -\varepsilon_{cu} \left(\frac{cd'}{x_c} - 1 \right) E_s$$

$$\sigma_s = \frac{560}{\xi_c} - 700$$

$$\sigma'_s = \frac{560}{\xi'_c} - 700$$

KÉTSZERESEN VASALT NÉGYSZÖG KERESZTMETSZET HATÁRNYOMATÉKA

- Vetületi egyenlet pl. ha a húzott acélbetét folyási állapotban van, a nyomott acél pedig rugalmas.

$$x_c b_c \alpha f_{cd} = A_s f_{yd} + A'_s \left(\frac{560}{x_c} d' - 700 \right)$$

határnyomaték:

$$M_{Rd} = b_w x_c \alpha f_{cd} \left(d - \frac{x_c}{2} \right) - A'_s \sigma'_s (d - d')$$

ahol:

$$\sigma'_s = \frac{560}{\xi'_c} - 700$$

HAJLÍTOTT KERESZTMETSZET

- A keresztmetszet ellenőrzése – az eddig tárgyalt határnyomaték számítás
- Tervezés
 - Kötött tervezés
 - Adottak a km. befoglaló méretei (b, h)
 - Szabad tervezés
 - Ismeretlenek b, h, A_s, A'_s, x_c

HAJLÍTOTT KERESZTMETSZET KÖTÖTT TERVEZÉSE

- Ismeretek a keresztmetszet befoglaló méretei (b, h)
- Hasznos (hatékony) magasság $d \approx h - (40-80)\text{mm}$
- Feltételezve, hogy a betonacél folyik, és csak húzott betonacélt alkalmazunk:
- Nyomatéki egyenlet:

$$M_{Ed} = M_{Rd} = b_w x_c \alpha f_{cd} \left(d - \frac{x_c}{2} \right)$$

Vetületi egyenlet:

$$F_c = F_s \quad x_c b \alpha f_{cd} = A_s f_{yd}$$

A két egyenlet két ismeretlent tartalmaz az elsőből x_c értéke meghatározható míg ennek ismeretében a másodikból A_s számítható

HAJLÍTOTT KERESZTMETSZET KÖTÖTT TERVEZÉSE

- Amennyiben $x_c > x_{co}$ ($\xi_c > \xi_{co}$), akkor a húzott vasalás rugalmas állapotban van, ekkor az előző egyenletekben f_{yd} értékét módosítani (redukálni) kell σ_s -re. Ekkor túlvasalt keresztmetszetet kapunk, ez nem szerencsés célszerűbb nyomott vasalást is alkalmazni.
- A nyomatéknak van egy maximális értéke, amelynél a km. Úgy vasalható be, hogy csak húzott vasalás szükséges és a vasalás folyási állapotban van.
- Ezt a nyomatékot M_o -al jelöljük és a $\xi_c = \xi_{co}$ feltételből számíthatjuk ki.

$$M_{co} = b_w x_{co} \alpha f_{cd} \left(d - \frac{x_{co}}{2} \right)$$

$$x_{co} = \xi_{co} d$$

HAJLÍTOTT KERESZTMETSZET KÖTÖTT TERVEZÉSE

- Ha $M_{Ed} > M_o$ célszerű nyomott vasalást is alkalmazni!
- Ismeretlenek x_c , A_s , A'_s
- Vetületi és nyomatéki egyenlet (2 egyenlet 3 ismeretlen)
- Legyen $(A_s + A'_s)$ minimális ez közelítőleg akkor áll fenn ha: $x_c = x_{co} = \xi_{co} d$ (ez a 3. egyenlet)

Nyomatéki egyenlet:

$$M_{Ed} = M_{Rd} = b_w x_{co} \alpha f_{cd} \left(d - \frac{x_{co}}{2} \right) + A'_s f_{yd} (d - d')$$

Vetületi egyenlet:

$$x_{co} b \alpha f_{cd} = A_s f_{yd} - A'_s f_{yd}$$

Nyomott vasmennyiség az első egyenletből:

$$A'_s = \frac{M_{Ed} - M_o}{f'_{yd} (d - d')}$$

Húzott vasmennyiség a második egyenletből:

$$A_s = \frac{x_{co} b \alpha f_{cd}}{f_{yd}} + A'_s \frac{f_{yd}}{f'_{yd}}$$

HAJLÍTOTT KERESZTMETSZET SZABAD TERVEZÉSE

- Ismeretlenek a (b, h, A_s, A'_s, x_c)
- Nyilvánvaló, hogy két egyenletből (vetületi és nyomatéki) nem határozható meg
- További feltételek:
 - $A'_s=0$, azaz nyomott vasalást nem alkalmazunk
 - Nyomott zóna magassága $\xi_c=0,3-0,4$ gerendáknál
 - lemezeknél : 0,2
 - Még egy paramétert vehetünk fel szabadon
 - Ez lehet b, d vagy $\eta=d/b$
 - Bármelyik is adott a három közül a nyomatéki egyenletet kell felírni

HAJLÍTOTT KERESZTMETSZET SZABAD TERVEZÉSE

Bármelyik is adott a három közül a nyomatéki egyenletet kell felírni:

$$M_{Ed} = M_{Rd} = b x_c \alpha f_{cd} \left(d - \frac{x_c}{2} \right) = b d^2 \alpha f_{cd} \xi_c \left(d - \frac{\xi_c}{2} \right)$$

b adott:

$$d = \sqrt{\frac{M_{Ed}}{b \alpha f_{cd} \xi_c \left(1 - \frac{\xi_c}{2} \right)}}$$

d adott:

$$b = \frac{M_{Ed}}{d^2 \alpha f_{cd} \left(1 - \frac{\xi_c}{2} \right)}$$

η adott:

$$d = \sqrt[3]{\frac{\eta M_{Ed}}{\alpha f_{cd} \xi_c \left(1 - \frac{\xi_c}{2} \right)}}$$

NYÍRÁSVIZSGÁLAT EC2 SZERINT

- Méretezett nyírási vasalást nem tartalmazó keresztmetszetek nyírási teherbírása:
- A keresztmetszet Nyírási teherbírását ($V_{Rd,c}$) a nyomott zóna nyírási teherbírása biztosítja

NYÍRÁSVIZSGÁLAT EC2 SZERINT

$$V_{Rd,c} = \left[\frac{0,18}{\gamma_c} k (100 \rho_\ell f_{ck})^{1/3} + 0,15 \sigma_{cp} \right] b_w d \geq (v_{\min} + 0,15 \sigma_{cp}) b_w d$$

ahol:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$\rho_\ell = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$$

A_{sl} - a vizsgált keresztmetszetben megfelelően lehorgonyzott húzott oldali hosszvasalás km-i területe.

b_w - a km legkisebb szélessége a húzott zónában

$$\sigma_{cp} - \sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c \leq 0,2f_{cd}$$

N_{Ed} – a vizsgált km-ben a külső terhekből és a feszítésből származó normálerő tervezési értéke

A_c – a betonkeresztmetszet területe

v_{\min} – értéke $v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$

NYÍRÁSVIZSGÁLAT EC2 SZERINT

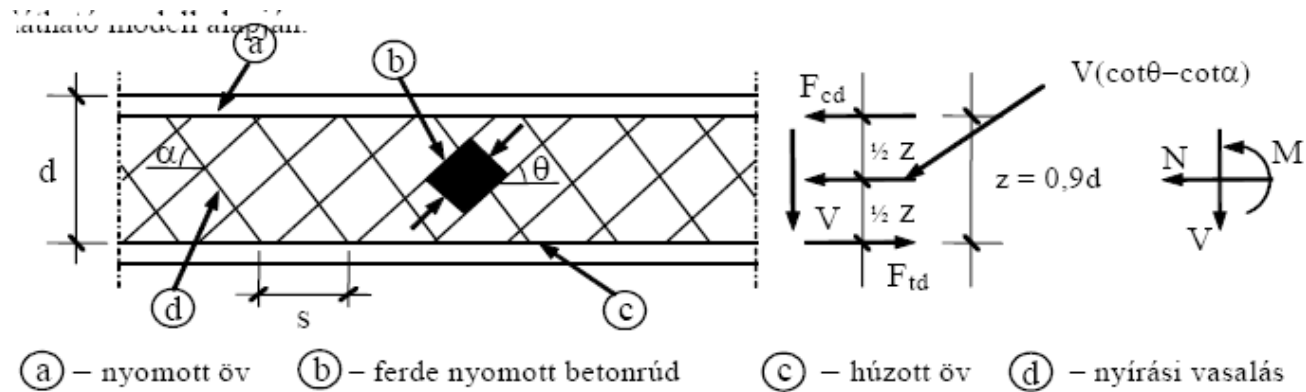
- Abban az esetben ha
 $N_{Ed}=0$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12k(100\rho_{\ell}f_{ck})^{1/3} \right] b_w d \geq (v_{\min}) b_w d$$

$$\rho_{\ell} = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

NYÍRÁSVIZSGÁLAT EC2 SZERINT



NYÍRÁSVIZSGÁLAT EC2 SZERINT

- Méretezett nyírási vasalást tartalmazó keresztmetszetek nyírási teherbírása:

A beton ferde nyomási teherbírása: (a km által felvehető maximális nyíróerő):

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v f_{cd} \frac{(\cot \alpha + \cot \theta)}{1 + \cot^2 \theta}$$

b_w - a húzott és nyomott öv közötti legkisebb keresztmetszeti szélesség,

z - a belső kar, normálerő (feszítés) nélküli elemek esetén általános esetben $z = 0,9d$ érték alkalmazható.

v - hatékonysági tényező, általában: $v = 0,6(1 - f_{ck} / 250)$

α - a nyírási vasalás síkjának a tartó hossz tengelyével bezárt szöge (kengyel esetén $\alpha = 90^\circ$ felhajlítás esetén $\alpha = 45^\circ$)

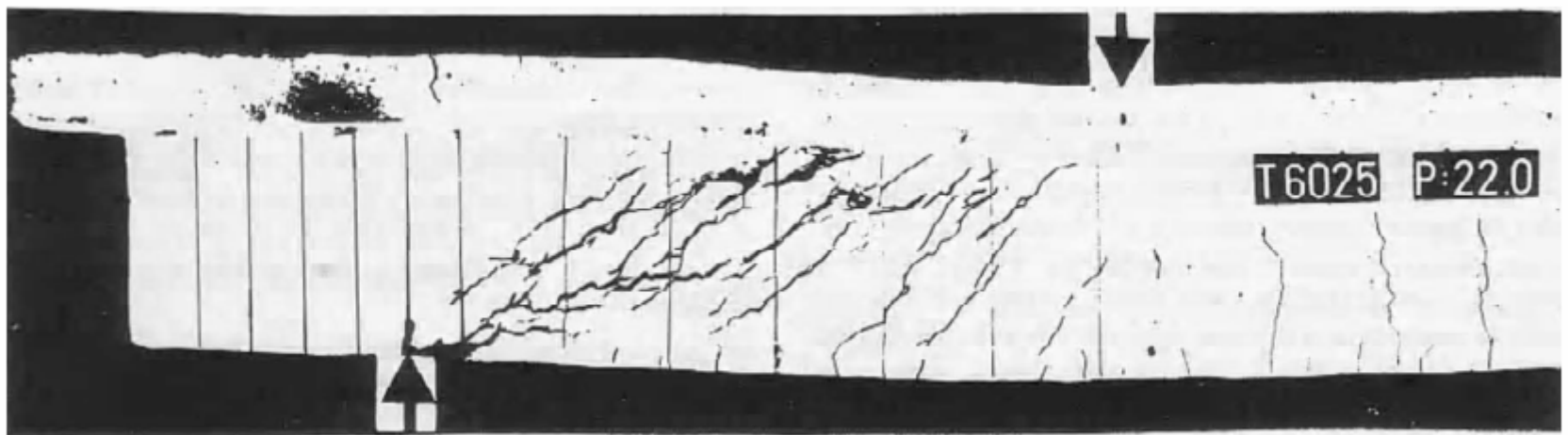
θ - a nyomott beton rácsrúd tartótengellyel bezárt szöge

NYÍRÁSVIZSGÁLAT EC2 SZERINT

A nyírási acélok teherbírása:

$$V_{Rd,s} = \frac{z}{s} A_{sw} f_{ywd} (\cot \alpha + \cot \theta) \sin \alpha$$

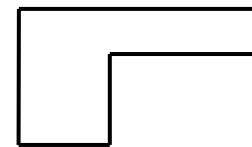
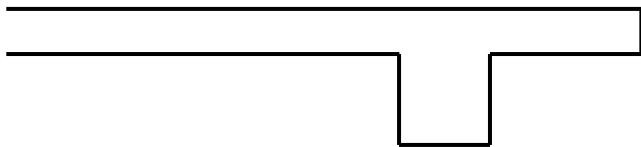
ahol: A_{sw} - a nyírási vasalás keresztmetszeti területe
 f_{ywd} : a nyírási vasalás szilárdságának tervezési értéke.
 s : kengyeltávolság a tartó hossz tengelye mentén mérve.



T6025 P:22.0

CSAVARÁS

- A csavarási teherbírás a szerkezet egyensúlyának biztosításához szükséges
- A csavarási teherbírás a szerkezet egyensúlyának biztosításához nem szükséges



Nem szükséges csavarási vasalást elhelyezni négyszög keresztmetszetű vasbeton gerendában, ha

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} + \frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} \leq 1$$

ahol T_{Ed} a csavarónyomaték, V_{Ed} a nyíróerő tervezési értéke, $V_{Rd,c}$ a 6.3. szakaszban adott, $T_{Rd,c} = 2A_k f_{ctd}$ (A_k -t és t_{ef} -et a következő ábrában értelmezzük.)

A csavarási vasalással ellátott csavart rúd teherbírásának feltétele:

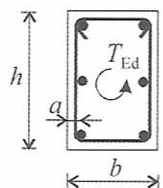
$$T_{Ed} \leq T_{Rd}$$

ahol T_{Rd} -t a kengyelek teherbírása (T_{Rd}^w), a hosszvasak teherbírása (T_{Rd}^l) és a ferde nyomott beton rácsrúd ($T_{Rd,max}$) közül a legkisebbik adja:

$$T_{Rd} = \min \begin{cases} T_{Rd}^w \\ T_{Rd}^l \\ T_{Rd,max} \end{cases}$$

A számítás egy helyettesítő „vékonyfalú” keresztmetszet alapján történik az alábbi ábra szerint:

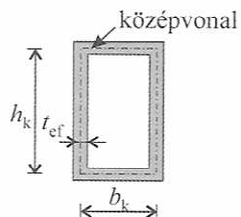
A vizsgálandó vasbeton négyszög keresztmetszet



$$u = 2(b+h)$$

$$A = bh$$

A helyettesítő „vékonyfalú” keresztmetszet

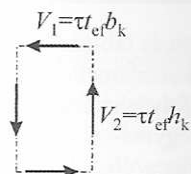


$$t_{ef} = \max \left\{ \frac{A}{u}; 2a \right\}$$

$$A_k = b_k h_k$$

$$u_k = 2(b_k + h_k)$$

A „vékony” falakban fellépő nyírófeszültségek és erők



$$q = \tau \cdot t_{ef} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \text{ (nyírófolyam)}$$

$$V_1 = qb_k$$

$$V_2 = qh_k$$

A kengyelek tönkremeneteléhez tartozó csavarónyomaték (T_{Rd}^w):

$$T_{Rd}^w = 2A_k \frac{A_{sw} f_{yd,w}}{s} \cot \theta$$

A hosszvasak tönkremeneteléhez tartozó csavarónyomaték (T_{Rd}^l):

$$T_{Rd}^l = 2A_k \frac{\sum A_{sl} f_{yd,l}}{u_k \cot \theta}$$

A nyomott rácsrúd tönkremeneteléhez tartozó csavarónyomaték ($T_{Rd,max}$) tömör keresztmetszet esetében:

$$T_{Rd,max} = 2\nu f_{cd} A_k t_{ef} \sin \theta \cos \theta$$

ahol

$$\nu = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

$$\left(\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \right) + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right) \leq 1$$