

# Merevbetétes vasbeton pillérek

Dr. Kiss Zoltán<sup>1</sup>, Dr. Köllő Gábor<sup>2</sup>, Dr. Kopenetz Lajos<sup>2</sup>, Orbán Zsolt<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, docens,

<sup>2</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem professzor

<sup>3</sup>PFT, Kolozsvár

## Abstract

*Technical peoples from ancient times attempt to discover new materials to improve the properties of the buildings structural elements.*

*This article wish to demonstrate that the properties of elements can be improve even if they are made from usual materials, but used in an intelligent way. Therefore the high resistance concrete combined with flexible and rigid steel could be an efficient solution.*

*In this article are presented the mathematical relations for rectangular or circular columns calculated using different norms.*

## 1. Bevezetés

Egy pillér kialakításánál három szempontot kell figyelembe venni:

- a minden igényt kielégítő optimális formát,
- a kihajlást,
- teherbírást és duktilitást.

Az oszlopok formája különböző lehet, a jól bevált kör vagy négyszög-keresztmetszet mellett az egészen különleges keresztmetszetűig.

A forma kiválasztása, az esztétikai szemponton túl, a kihajlás függvénye.

A nyomott rudak alapproblémája a kihajlás, amelynek elméletét kb. 250 évvel ezelőtt Euler dolgozta ki, s elvei azóta – bizonyos továbbfejlesztésekkel – lényegében a mai napig érvényben maradtak. Az elmélet szerint, a nyomott vagy a nyomott-hajlított rúd teherbírását az elem *karcsúsága* ( $\lambda = \frac{l_0}{i}$ ) vagy a *hajlékonysága*

( $\lambda_a = \frac{l_0}{h}$ ) határozza meg.

A karcsúság vagy hajlékonyság nagyságának függvényében szokás beszélni zömök vagy karcsú oszlopról:

- a *zömök oszlopnál* ( $\lambda_a \leq 10$  ; ( $\lambda_a \leq 8,6$ )) a teherbírás megszűnése az anyagi szilárdság kimerülésének következtében jön létre, és az alakváltozásnak másodrendű szerepe van;
- *karcsú oszlopról* ( $10 < \lambda_a \leq 30$ ) akkor beszélünk, ha a teherbírás kimerülése az alak minőségi megváltozásának következtében megy végbe, és a szilárdságnak csak másodrendű szerepe van.

Az elméleti kihajlási hosszat ( $l_0 = \beta l$ ) az oszlop épületszerkezeten belüli helye és kapcsolásai határozzák meg, az inerciasugarat ( $i$ ) pedig a keresztmetszet méretei.

A *kihajlási hossz* tulajdonképpen a kihajlott rúdtengely két egymásután következő hajlásváltó (inflexiós) pontja közötti távolság. Az  $l_0$  hosszúságú rudat mindkét végén csuklós megfogású pillérnek tekintjük.

A szakirodalom általában az elméleti eseteket mutatja be; a gyakorlatban elég nagy a bizonytalanság, mivel a szabványok más-más értékeket tartalmaznak a felhasznált építőanyag, a szerkezet merevsége és a terhelés függvényében.

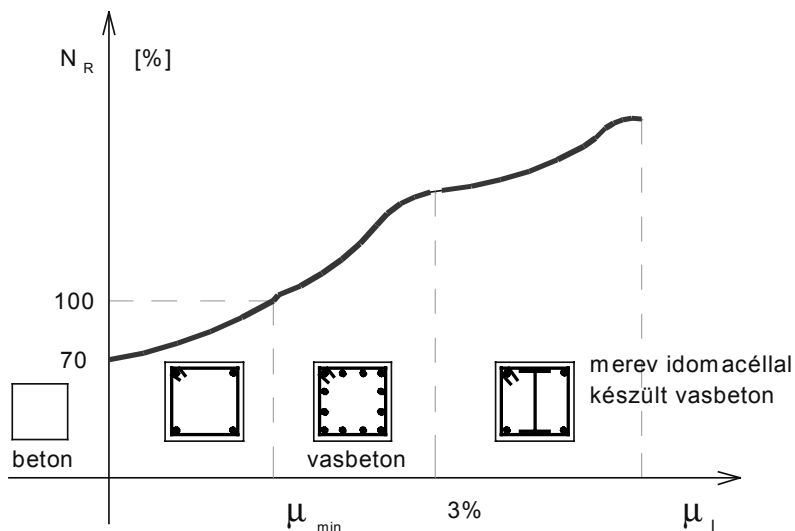
Az *inerciasugarat* a keresztmetszet növelésével tudjuk kedvezően befolyásolni, esetleg úgy, hogy a legnagyobb keresztmetszetek a legnagyobb kihajlás helyére kerüljenek. Másfelől az oszlopok függőleges és vízszintes terhelései a hídnyílással vagy a magassággal egyenes arányban növekednek. Ehhez szintén a *keresztmetszet növelésével* lehet a legjobban alkalmazkodni.

A szerkezeti méretek növelésének azonban számos korlátja van.

Az alaprajzi kialakítás, a funkcióból eredő szempontok miatt legtöbbször kizárhatja, de mindenesetre erősen korlátozza a méretnövelés lehetőségeit. Így a pillérek karcsúsága igen nagy lehet, szinte a megengedett határt érintik ( $\lambda = \frac{l_0}{h} = 25 \dots 30$ ). A felsorolt lehetőségek közötti ellentét azonnal észrevehető. Egyrészt a te-

herbírási és stabilitás biztosításának érdekében állandóan növelni kellene a pillér keresztmetszetét, másrészt a gazdaságosság és a funkcionális igények határt szabnak ezeknek a lehetőségeknek.

A megoldást legtöbbször a nagyobb szilárdságú anyagok alkalmazása jelenti. Itt elsősorban a magas szilárdságú betonokra gondolunk, mert a nagy szilárdságú acélok használata a szerkezet duktilitásának drasztikus csökkenéséhez vezethet. Ezért inkább az acélbetét mennyiségének a növelése a járható út, akár idomacélok használatával is. Tehát a hosszirányú vasalás a döntő, növeli a teherbírást (1. ábra).

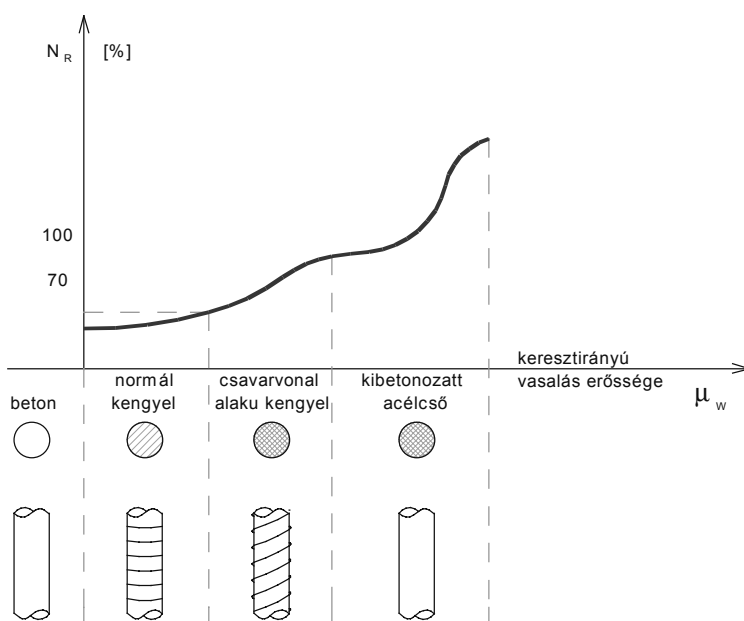


**1. ábra**

*Hosszvasalás szerepe az oszlop teherbírásiában*

Fontos körülmény, hogy a hosszirányú nyomott betét kihajlását a környező beton csak addig gátolja, amíg annak szilárdsága nem merül ki.

A kísérleti adatok szerint a keresztirányú vasalás (kengyel) szerepe elsősorban abban jelentkezik, hogy gátolja a beton keresztirányú tágulását, és ezzel növeli az oszlop teherbírásiát. A keresztirányú vasalás mértékének minőségi határát a 2. ábra szemlélteti.



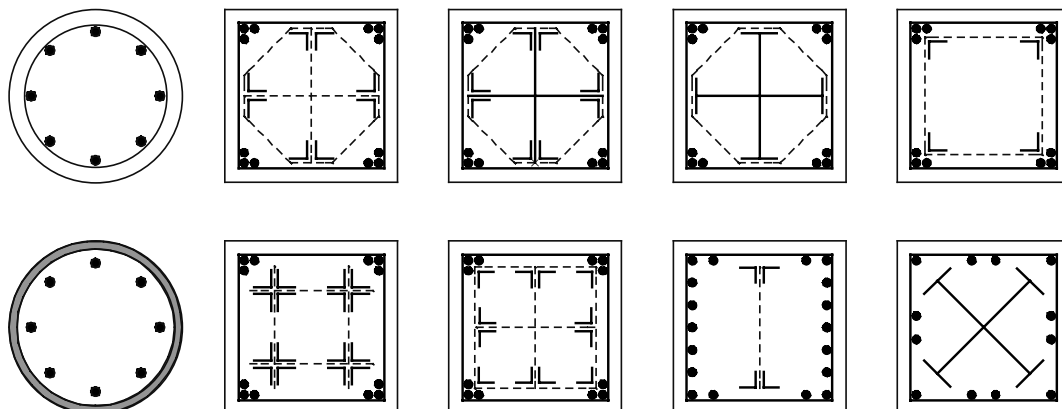
**2. ábra**

*Keresztvasalás szerepe az oszlop teherbírásiában*

Az 1. és 2. ábrát tanulmányozva az egyik legkedvezőbb megoldásnak a kibetonozott acélcső tekinthető, melyet csak tetéz a zsaluzat szükségtelensége.

Másfelől, heves földrengésnek kitett szerkezeteknél a nagyobb keresztmetszetű pillérek alkalmazása szinte megszokott a tervezők körében. Ezzel elsősorban a keresztmetszetek kisebb igénybevételét szeretnék elérni. Ez rendben is volna, ha egyben nem növelnék jelentősen a szerkezet merevségét is. A kérdés megoldásához abból indulunk ki, hogy a statikus merevség fokozása sok esetben nemhogy előnyös, hanem kifejezetten hátrányos a szeizmikus hatás ellen. Nem túlméretezni, hanem hajlékonyra, képlékeny alakváltozásra alkalmassá kell tenni a vasbeton szerkezetet (elsősorban a pilléreket), persze a szerkezet megengedett maximális kihajlása mellett.

Ezt adott keresztmetszet esetén csak a vasalás megfelelő kialakításával lehet elérni. Jól megválasztott vasalási rendszerrel többszörösére lehet emelni a vasbeton pillérek duktilitási képességét. Ezért esik a választás a nagyon erős terhelésnek kitett pilléreknél (A, B és C zóna) a merev acélbetétes vasalásra (3. ábra).



3. ábra

*Vasbeton pillérek keresztmetszetének kialakítása acélidomok segítségével*

A merev acélbetétek alkalmazása mellett szólt az a tény is, hogy a román szabvány kifejezetten megtiltja a teljes hosszanti fajlagos vasmennyiség 2,5%-nál nagyobbra vételét. Az előírás tulajdonképpen a túlvasalt keresztmetszet rideg törését hivatott megakadályozni, értéke a nyomott hajlított vasbeton keresztmetszet nyomott betonöv magasságának korlátozásából ( $x < 0.4h_0$ ) vezethető le.

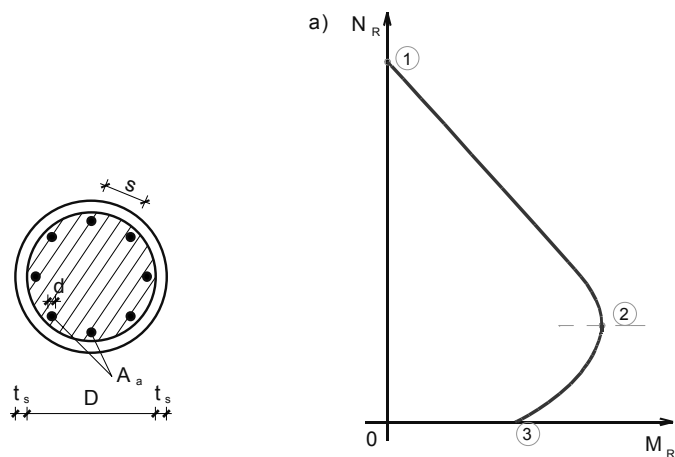
Igaz, hogy a kapott érték körülbelül 6%, de a betonacél toldása miatt a megengedett vashányadot a felére kell csökkenteni. A merevbetétes vasbeton oszlopok használata elég új keletű, ezért viselkedésük tanulmányozása igen időszerű.

## 2. A nyomott-hajlított keresztmetszet terhelési vonala

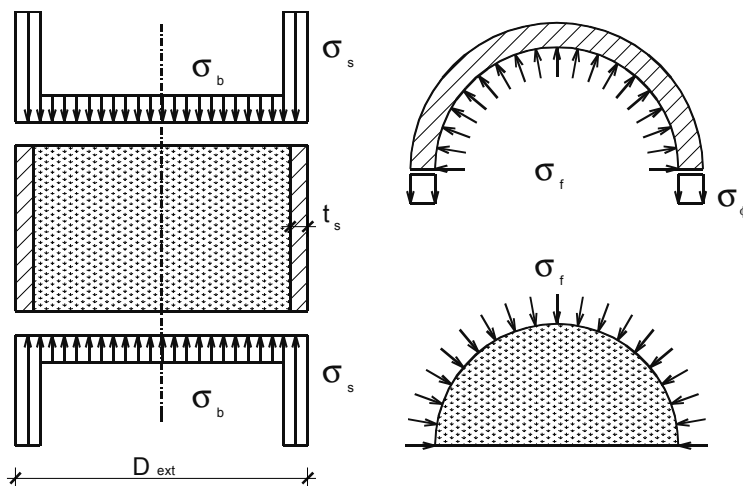
### 2.1. Kibetonozott acélcső

Mint ismeretes, egy tetszőleges e mértékadó külpontossághoz meghatározhatók a vasbeton-keresztmetszet törési feltételét jelentő  $N_R$  és  $M_R = N_{Re}$  értékek. Több  $N_R$  és  $M_R$  értékpár egy koordináta rendszerben ábrázolva meghatározza a keresztmetszet terhelési görbáját (4. ábra).

Egy kellő nagyságú tengelyirányú, külső nyomóerő hatására a kibetonozott acélcső belsejében a két anyag (beton és acél) felületén egy sugárirányú feszültség keletkezik (5. ábra), ami a nyomott betonmagot kéttengelyű feszültségi állapotba hozza, míg az acélköpenyben gyűrű húzófeszültséget eredményez. Az így keletkezett feszültségek összetéve a tengelyirányú nyomófeszültséggel az acélköpeny teherbírásának csökkenését eredményezik, másfelől a beton szilárdsága nagy mértékben megnő a kedvező kétirányú feszültségi állapota miatt. Így a beton teherbírásának növekedése ellensúlyozza az acélköpeny teherbírásának csökkenését.



**4. ábra**  
A körkeresztmetszet teherbírési görbéje



**5. ábra**  
Feszültségek eloszlása körkeresztmetszetű kibetonozott acélcső esetén

- A teherbírési vonal nevezetes pontjainak meghatározásához az alábbi alapfeltételekkel élhetünk (6. ábra);
- az acélcsőben levő beton számítási szilárdságát a következőképpen határozzuk meg:

$$R_{bd} = mR_c \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (2.1)$$

$$m = 1 + \left( \frac{R_a}{R_c} + 25 \right) \frac{t}{D} \leq 2$$

- az acélköpeny falának és az alkalmazott hosszanti betonacél együttes vastagsági méretei

$$t = t_s + t_a \text{ [mm]} \quad (2.2)$$

- a két acél (cső és hosszanti betét) egyezményes szilárdsága:

$$R_{as} = \frac{t_s R_s + t_a R_a}{t} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2.3)$$

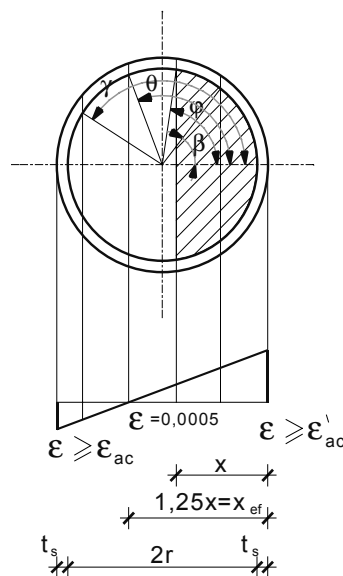
– a cső helyettesítő sugara:

$$r = \frac{D - 2t_a}{2} \quad [\text{mm}] \quad (2.4)$$

ahol:

- $t_s$  – a cső falvastagsága;
- $t_a = \frac{\pi d^2}{4s}$  – a betonacél fajlagos keresztmetszete;
- $d$  – a hosszanti vasbetét keresztmetszetének átmérője;
- $s$  – a hosszanti vasbetét közötti távolság;
- $D$  – az acélcső, belső átmérője;
- $R_s, R_a$  – az acélcső valamint a hosszanti acélbetétek számítási szilárdsága (határfeszültsége);
- $R_c$  – a beton határfeszültsége (az egyirányú nyomófeszültség számítási értéke).

Figyelembe véve a következő paramétereket (7. ábra)



**6. ábra**

*Számítási paraméterek kör-keresztmetszetre  
(kibetonozott acélcső)*

$$\varphi = \arccos\left(1 - 0,8 \frac{x_{ef}}{r}\right) \leq 180^\circ \quad (2.5)$$

$$\theta = \arccos\left(1 - \frac{x_{ef}}{r}\right) \leq 180^\circ \quad (2.6)$$

$$\beta = \arccos\left(1 - 0,8 \frac{x_{ef}}{r\xi_o}\right) \leq 180^\circ \quad (2.7)$$

$$\gamma = \arccos\left(1 - 0,8 \frac{x_{ef}}{r\xi_o}\right) \leq 180^\circ \quad (2.8)$$

$$\xi_o = \frac{2,8}{3,5 + \frac{R_a}{E_s} 103}; \quad \xi_o' = \frac{2,8}{3,5 - \frac{R_a}{E_s} 103} \quad (2.9)$$

az elfordulási tengely helyétől függően ha

$$0 < x_{ef} < \infty \quad (2.10)$$

a teherbírási vonal  $N_R, M_R$  értékpárja a következő kifejezésekkel számítható:

$$N_R = \frac{r^2}{2} (\varphi - \sin \varphi \cos \varphi) R_{bd} + N_{aR}' + N_{aR} \quad (2.11)$$

$$M_R = \frac{r^3}{3} \sin^3 \varphi R_{bd} + M_{aR}' + M_{aR} \quad (2.12)$$

ahol

$$N_{aR}' = rt \left\{ [\omega]_0^\beta R_{as} + 515 [\omega]_\beta^0 - 412 \frac{[\omega]_\beta^0 - [\sin \omega]_\beta^0}{1 - \cos \varphi} \right\} \quad (2.13)$$

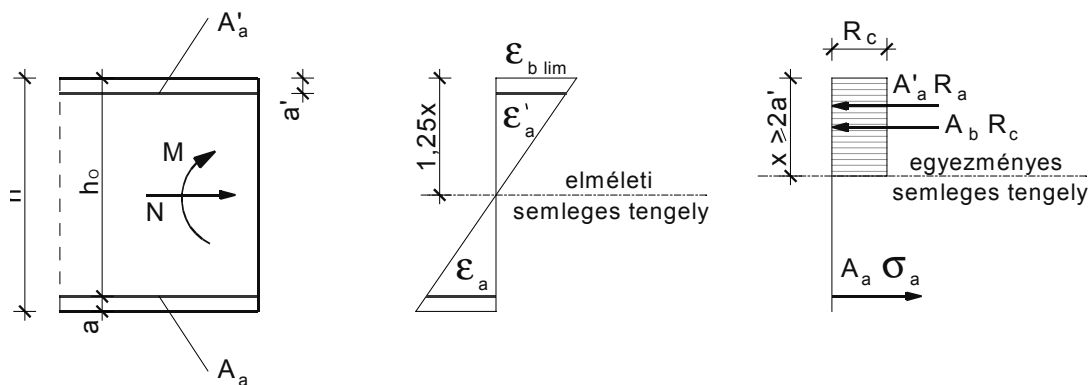
$$N_{aR} = -rt \left\{ [\omega]_\gamma^\pi R_{as} + 515 [\omega]_0^\pi - 412 \frac{[\omega]_\theta^\gamma - [\sin \omega]_\theta^\gamma}{1 - \cos \varphi} \right\} \quad (2.14)$$

$$M_{aR}' = r^2 t \left\{ [\sin \omega]_0^\beta R_{as} + 515 [\sin \omega]_\beta^\theta - \frac{412}{1 - \cos \varphi} \left( [\sin \omega]_\beta^\theta - \frac{1}{2} [\omega]_\beta^\theta - \frac{1}{4} [\sin 2\omega]_\beta^\theta \right) \right\} \quad (2.15)$$

$$M_{aR} = r^2 t \left\{ [\sin \omega]_\gamma^\pi R_{as} + 515 [\sin \omega]_\theta^\gamma - \frac{412}{1 - \cos \varphi} \left( [\sin \omega]_\theta^\gamma - \frac{1}{2} [\omega]_\theta^\gamma - \frac{1}{4} [\sin 2\omega]_\theta^\gamma \right) \right\} \quad (2.16)$$

A 8. és 9. egyenleteknél a gyűrűfeszültségek számításakor a másodrendű tagokat elhanyagoltuk.

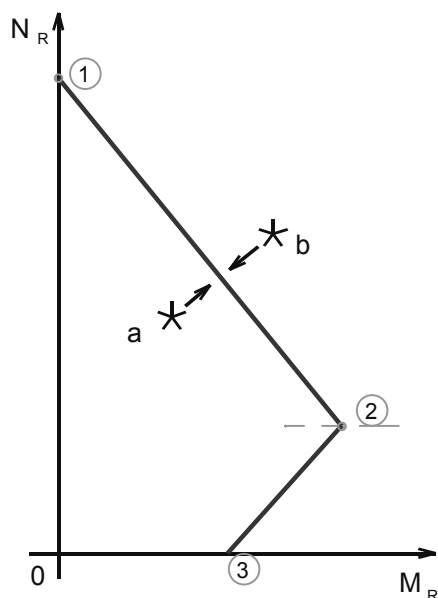
A  $\xi_o$  és  $\xi_o'$  paramétereket a 7. ábra szerint állapítottuk meg, figyelembe véve a beton határalakváltozásának  $\varepsilon_{blim}=3,5\%$  értékét.



7. ábra

Hipotézisek központosan nyomott kibetonozott acélcső metszetének számolására

A számítás analitikai nehézségei miatt valójában csak egy egyszerűsített terhelési vonal alkalmazható a gyakorlatban (8. ábra).



8. ábra

A keresztmetszet egyszerűsített teherbírasi görbéje

A terhelési vonal három nevezetes pontjához tartozó teherbírasi értékpár az alábbiak szerint számítható:

- az „1” pont koordinátái (9.b. ábra)

$$N_{R1} = r^2 \pi R_{bd} + 2rt \pi R_{as} \leq 2r^2 \pi R_{bd} \quad (2.17)$$

$$M_{R1} = 0 \quad (2.18)$$

- a „2” pont koordinátái (9.c. ábra)

$$N_{R2} = 1,173r^2 R_{bd} \quad (2.19)$$

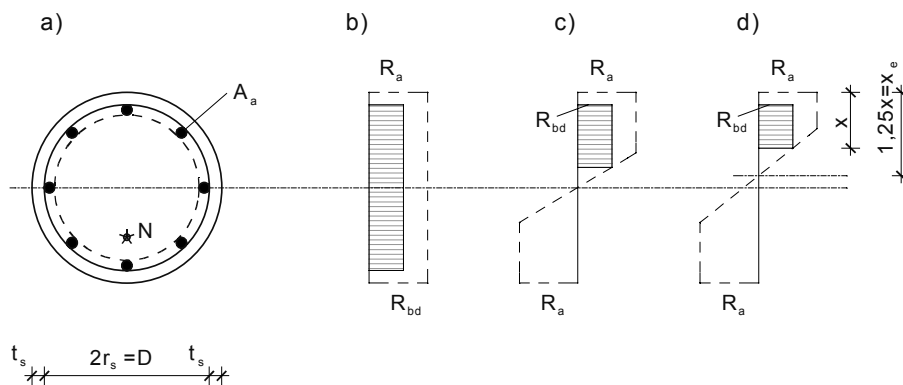
$$M_{R2} = 0,627r^2 R_{bd} + tr^2(3,13R_{as} + 224,5) \quad (2.20)$$

Az esethez az  $x = 0,82$  elfordulási tengely tartozik.

– a „3” pont koordinátái (9.d. ábra)

$$N_{R3} = 0 \quad (2.21)$$

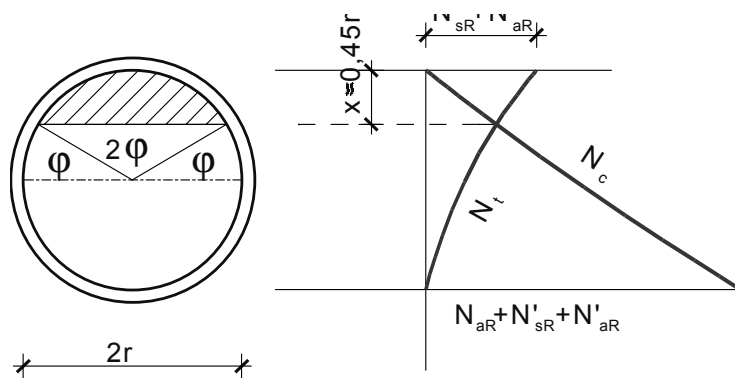
$$M_{R3} = 0,388r^3 R_{bd} + tr^2(3,27R_{as} + 95,65) \quad (2.22)$$



**9. ábra**

*Feszültségi állapotok kör-keresztmetszetű kibetonozott acélcsőben különböző  $N$  és  $M$  igénybevételekre*

A nyomott öv magasságát a  $x \cong 0,45r$  értékre vettük fel a 10. ábra szerint.



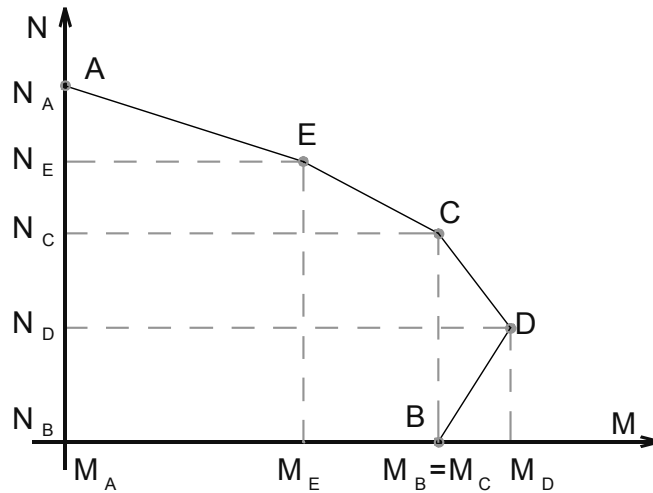
**10. ábra**

*A tiszta hajlításra igénybevett kibetonozott acélcső-keresztmetszet nyomott övének magassága*

A kibetonozott acélcső tervezésénél a következőképpen járunk el: tetszőlegesen megválasztjuk a következő értékeket:  $D$ ,  $t_s$ ,  $A_a$ ,  $R_c$ ,  $R_a$ ,  $R_s$ ; a (2.17); (2.18); (2.19); (2.20); (2.21); (2.22) kifejezésekkel meghatározzuk a teherbírási vonalat; ha az „a” pont a terhelési vonalon belül található, akkor a kezdetben felvett értékek nagyobbak a szükségesnél (az a pont a külső terhelés); ha kívül helyezkedik el, akkor a kezdetben felvett értékek igen kicsik, tehát a következőképpen növelni kell (a b pont a külső terhelés).

Az EUROCODE 4 szabvány hasonló módon oldja meg a kérdést, valamivel pontosabban (5 pontos törtvonallal) közelítve meg a teherbírási görbét (11. ábra).





**11. ábra**

*A kibetonozott acélcső terhelési vonal EC4 szerint*

Egy külpontosan nyomott kibetonozott acélcső axiális teherbírása a következő, ha az acél és a beton képlékeny állapotban van (2. ábra).

$$N_{pl,Rd} = A_s \eta_2 R_s + A_{bnet} R_c \left(1 + \eta_1 \frac{t_s}{D_{ext}} \frac{R_s}{R_c}\right) + A_a R_a \quad (2.23)$$

ahol

$D_{ext}$  – a cső külső átmérője;

$A_{bnet} = A_b - A_a$  – a tiszta betonkeresztmetszet felülete;

$$\eta_1 = \eta_{10} \left(1 + \frac{10e_o}{D_{ext}}\right); \quad (2.24)$$

$$\eta_2 = \eta_{20} (1 - \eta_{20}) \frac{10e_o}{D_{ext}}; \quad (2.25)$$

$$\eta_{10} = 4,9 - 18,5\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2 \geq 0; \quad (2.26)$$

$$\eta_{20} = 0,25(3 + 2\bar{\lambda}) \leq 1,0; \quad (2.27)$$

$e_o = \frac{M}{N}$  – eredeti külpontosság.

Amikor  $\bar{\lambda} > 0,5$  vagy  $e_o > \frac{d}{10}$  feltételek teljesülnek, az  $\eta_1$  és  $\eta_2$  tényezők a 0 valamint az 1 értéket veszik fel.

A pillér karcsúsága a következő képlettel határozható meg:

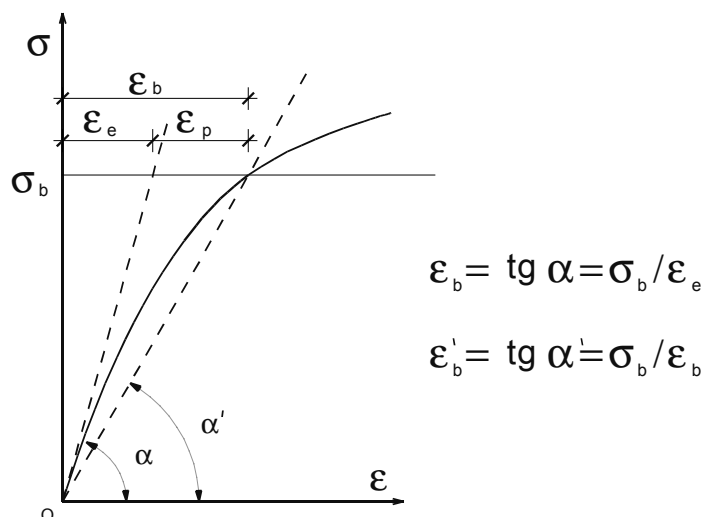
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rd}}{N_{kr}}} \quad (2.28)$$

ahol az  $N_{pl,Rd}$  normálerőt a (2.23) összefüggéssel számoljuk úgy, hogy a határfeszültségek helyett a jellemző szilárdságokat használjuk ( $R_{ak}$ ,  $R_{sk}$ ,  $R_{ck}$ ) és a kritikus axiális erőt.

$$N_{kr} = \frac{(EI)_e}{e_o^2} \quad (2.29)$$

$$(EI)_e = E_a I_a + 0,8 E_{bd} I_b + E_s I_s \quad (2.30)$$

A beton rugalmassági tényezőjét a szekáns modulus csökkentésével kapjuk (12. ábra).



**12. ábra**  
A beton alakváltozási modulusai

$$E_{bd} = \frac{E_b'}{1,35} \quad (2.31)$$

A határnyomaték a következő képlettel számítható (13. b. ábra):

$$M_{max,Rd} = W_{ps} R_s + 0,5 W_{pb} R_c + W_{pa} R_a \quad (2.32)$$

ahol

$$W_{pb} = \frac{(D_{ext} - 2t_s)^3}{6} \quad (2.33)$$

$$W_{ps} = \frac{D_{ext}^3}{6} - W_{pb} \quad (2.34)$$

$$W_{pa} = \sum_{i=1}^n [A_{ai} y_{ai}] \quad (2.35)$$

$y_{ai}$  – az egyes acélbetét keresztmetszetének és a pillér teljes keresztmetszetének súlypontjai között mért távolság.

A kibetonozott acélcső keresztmetszetének  $2h_n$  magasságban felvett hajlító nyomatéka (13.c. ábra):

$$M_{n,Rd} = W_{psn} R_s + 0,5W_{pbn} + W_{pan} R_a \quad (2.36)$$

ahol:

$$W_{pbn} = (D_{ext} - 2t_s)h_n^2 - W_{pan} \quad (2.37)$$

$$W_{psn} = 2t_s h_n^2 \quad (2.38)$$

$$h_n = \frac{A_{bnet} R_c - A_a (2R_a - R_c)}{2D_{ext} R_c + 4t_s (2R_s - R_c)} \quad (2.39)$$

Az anyagok képlékeny állapotában számított határnyomaték (9.c. ábra):

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd} \quad (2.40)$$

A teherbírás görbe öt nevezetes pontja a következő:

- az „A” pont koordinátái (központos határnyomóerő)

$$N_A = N_{pl,Rd} \quad (2.41)$$

$$M = 0 \quad (2.42)$$

- a „B” pont koordinátái (a határnyomaték)

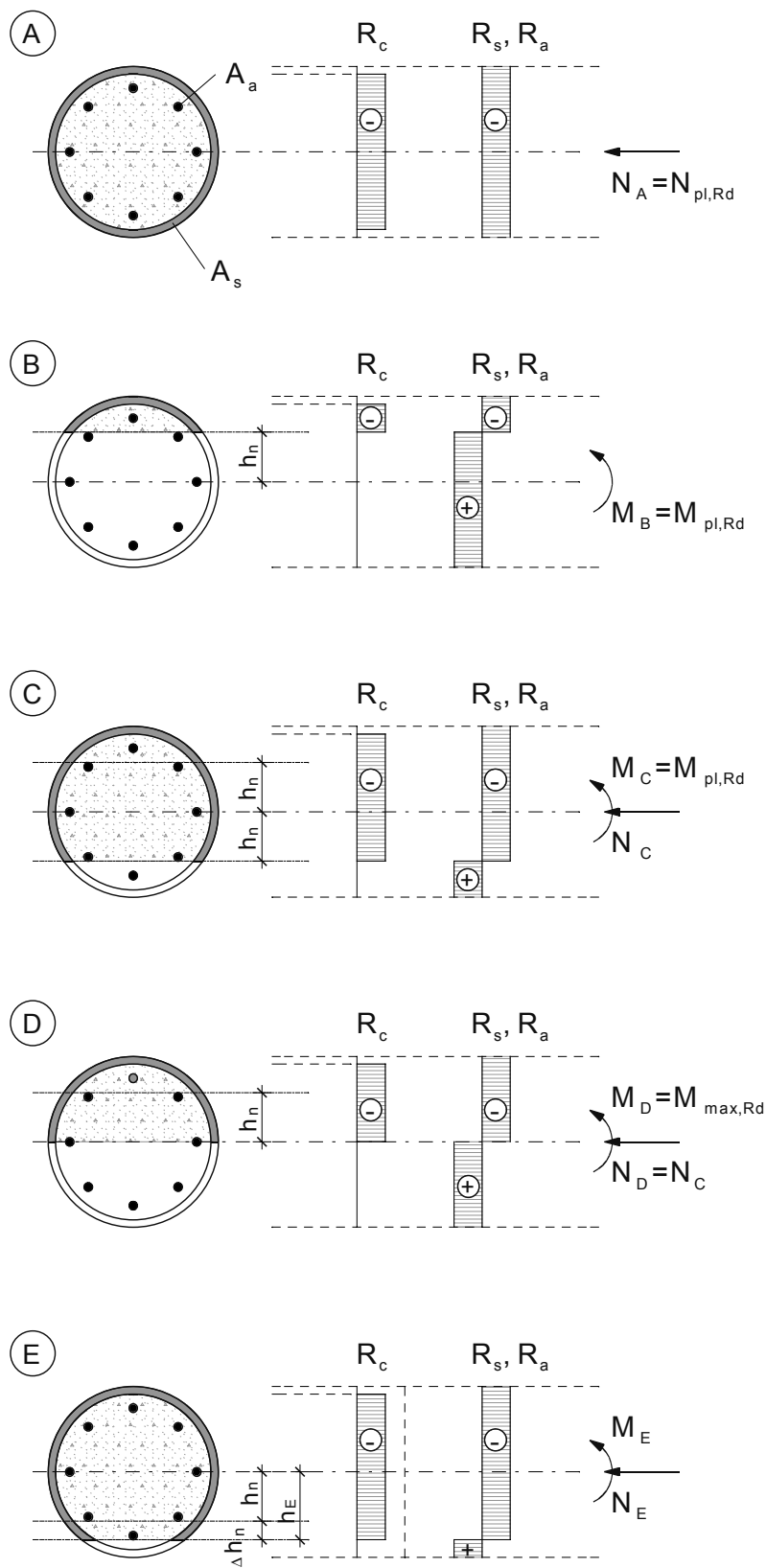
$$N_B = 0 \quad (2.43)$$

$$M_B = M_{pl,Rd} \quad (2.44)$$

- a „C” pont koordinátái

$$N_C = A_{bnet} R_c \quad (2.45)$$

$$M_C = M_{pl,Rd} \quad (2.46)$$



**13. ábra**

*A nyomó és húzófeszültségek eloszlása  
a nyomott öv nagyságának függvényében  
kör-kereszmetszetű kibetonozott acélcsőnél*

- a „D” pont koordinátái

$$N_D = 0,5 A_{bnet} R_c \quad (2.47)$$

$$M_D = M_{\max, Rd} \quad (2.48)$$

- az „E” pont koordinátái

$$N_E = \frac{N_{pl, Rd} + N_c}{2} \quad (2.49)$$

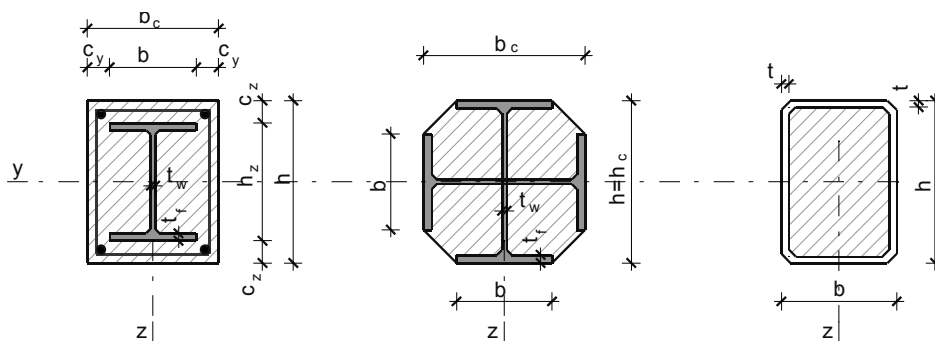
$$M_E = M_{\max, Rd} - M_{n, Rd}^E \quad (2.50)$$

A  $M_{n, Rd}^E$  hajlítónyomaték a (2.36) képlettel számítható, ahol a (2.37) és (2.38) összefüggésekben a  $h_n$  értékét a  $h_E$  mérettel helyettesítjük.

$$h_E = \frac{N_{pl, Rd} - A_{bnet} R_c - A_a^E (2R_a - R_c)}{2D_{ext} R_c + 4t_s (2R_s - R_c)} \quad (2.51)$$

## 2.2 Négyzög-keresztmetszetű pillér

Az idomacélok félig vagy teljesen a betonban lehetnek (14. ábra).



14. ábra

Vasbeton pillérek négyzög-keresztmetszetének kialakítása acélidomok segítségével

A teherbírasi görbének nevezetes pontjait a következőképpen kapjuk (15. ábra):

- az A pont

$$N_A = N_{pl, Rd} \quad (2.52)$$

$$M_A = 0 \quad (2.53)$$

- a B pont

$$N_B = 0 \quad (2.54)$$

$$M_B = M_{pl, Rd} \quad (2.55)$$

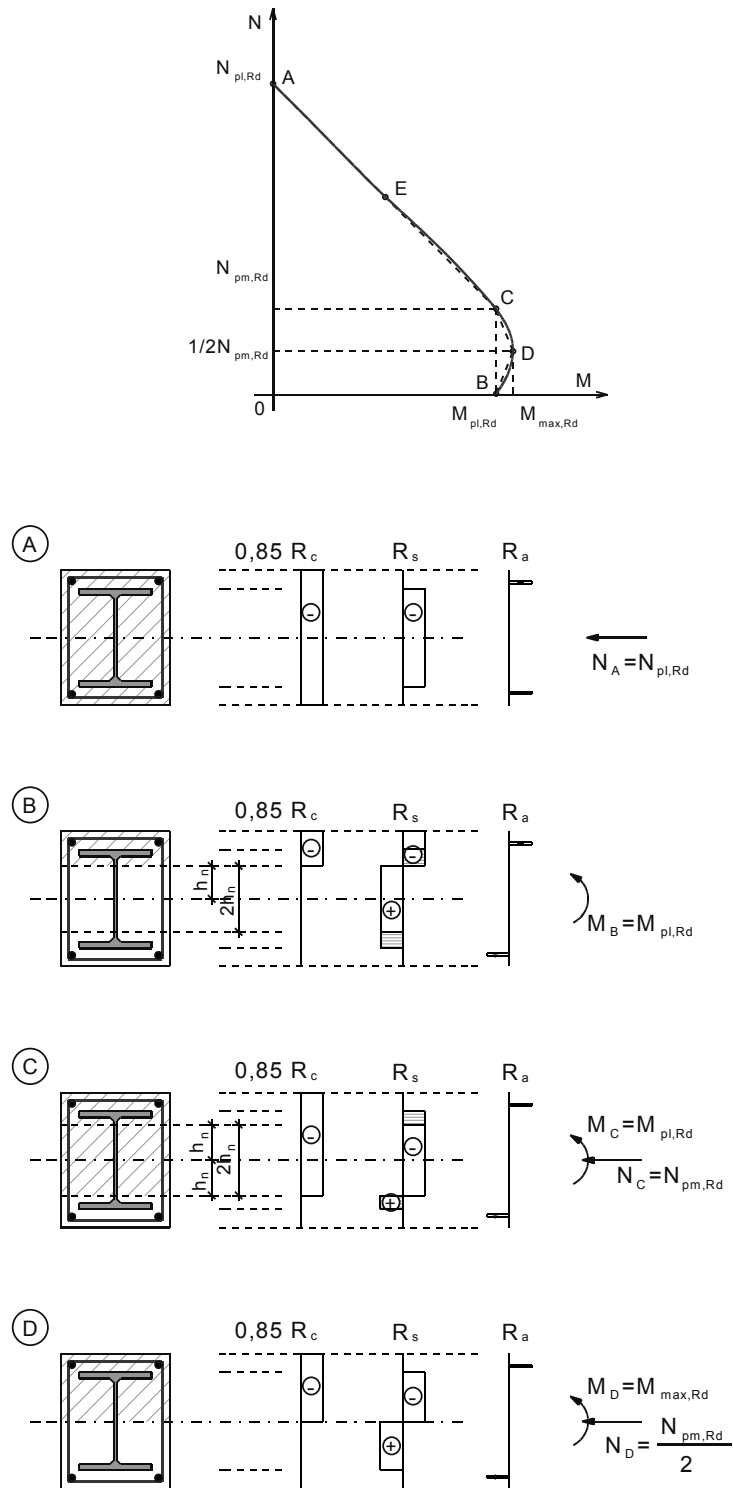
- a C pont

$$N_C = N_{pm, Rd} = 0,85 A_b R_c \quad (2.56)$$

$$M_C = M_{pl,Rd} \quad (2.57)$$

– a D pont

$$N_D = \frac{1}{2} N_{pm,Rd} \quad (2.58)$$



**15. ábra**

*A nyomó és húzófeszültségek eloszlása a nyomott öv nagyságának függvényében négyzög-keresztmetszetű kibetonozott acélcsőnél*

ahol:

$$M_{\max,Rd} = W_{ps} R_s + 0,425 W_{pb} R_c + W_{pa} R_a \quad (2.59)$$

$W_{ps}$ ,  $W_{pb}$ ,  $W_{pa}$  – keresztmetszeti tényezők

$$N_{pl,Rd} = A_s R_s + A_a R_a + 0,85 A_{b,net} R_c \quad (2.60)$$

$$M_{pl,Rd} = M_{\max,Rd} - M_{n,Rd} \quad (2.61)$$

$$M_{n,Rd} = W_{pan} R_a + W_{pbn} \frac{1}{2} R_c + W_{psn} R_s \quad (2.62)$$

ahol

$W_{pan}$ ,  $W_{pbn}$ ,  $W_{psn}$  – a normálvas, a beton és az idomacél képlékeny keresztmetszeti tényezője.

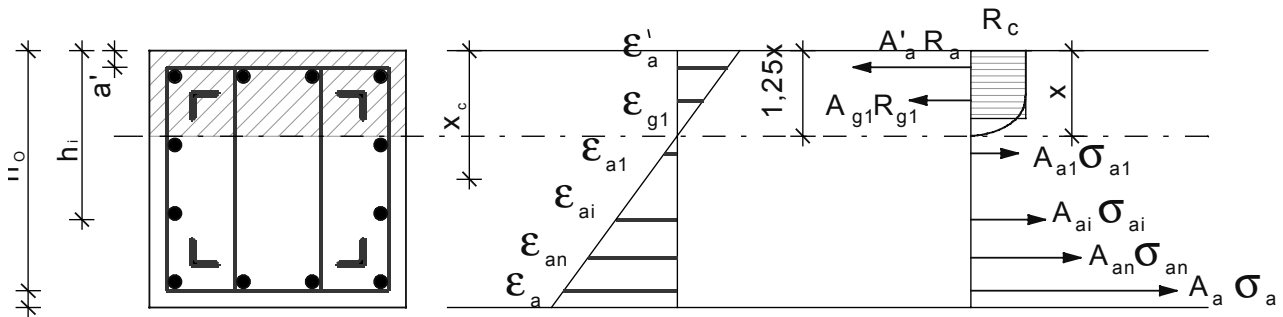
A fenti módszert csak akkor lehet alkalmazni ha az idomacél mennyisége kellően nagy:

$$0,2 \leq \delta \leq 0,8$$

ahol

$$\delta = \frac{A_s R_s}{A_s R_s + A_a R_a + 0,85 A_{b,net} R_c} \quad (2.63)$$

Ha  $\delta$  kisebb mint 0,2 akkor a vasbeton számítási szabályait alkalmazzuk a keresztmetszet méretezésénél (16. ábra).



16. ábra

ha  $x < 2a'$

$$M_{cap} = N(x_G - a') + A_a R_a h_a + \sum A_{ai} \sigma_{ai} (h_i - a') \quad (2.64)$$

ha  $2a' \leq x \leq x_b$

$$N = A_b R_c + A'_a R_a - A_a R_a - \sum A_{ai} \sigma_{ai} \quad (2.65)$$

$$M_{cap} = -N(h_o - x_G) + S_b R_c + A'_a R_a h_a - \sum A_{ai} \sigma_{ai} (h_o - h_i) \quad (2.66)$$

ha  $x > x_b$

$$N = A_b R_c + A'_a R_a - A_a R_a - \sum A_{ai} \sigma_{ai} \quad (2.67)$$

$$M_{cap} = -N(h_o - x_G) + S_b R_c + A'_a R_a h_a - \sum A_{ai} \sigma_{ai} (h_o - h_i) \quad (2.68)$$

Készült a SAPIENTIA Alapítvány támogatásával.

### **Bibliográfia**

- [1.] EUROCODE4 Calculul structurilor mixte din oțel-beton. Exemple de calcul. Edited by V. Păcurar & I. M. Aribert. Tempus Phare Complementary Measures Proiect 01198. Implementing of Sturctural Eurocodes in Romanian Civil Engineering Standards.
- [2.] Kiss Zoltán, Oneț T. Beton armat. Editura U.T. PRESS Cluj-Napoca 1999
- [3.] STAS 10107/0-90, Construcții civile și industriale. Calculul și alcătuirea elementelor din beton, beton armat și beton precomprimat.
- [4.] Szalai K., Vasbetonszerkezetek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.