NYOMOTT VASBETONOSZLOP VIZSGÁLATA A KÚSZÁS FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

Huszár Zsolt[*]

RÖVID KIVONAT

A külpontosan nyomott vasbetonoszlopok teherbírását kedvezotlenül befolyásolja a kúszás jelensége. Az oszlop keresztmetszeteiben a tartós terhek hatására muködo elso- és másodrendu nyomaték a kúszás idofüggvénye szerinti növekvo görbületet eredményez. A kúszás okozta görbület növekmény a külpontosság e_{Sd} tervezési értékét növeli, ezért elhanyagolása a biztonságot kedvezotlenül érinti. Ennek megfeleloen az EUROCODE-2 oszlop számításáról szóló fejezetét a közelmúltban módosították, bevezettek egy, a kúszási tényezotol függo, az e_2 másodrendu külpontosságot növelo faktort. E módosításnak folyamatban van a NAD MSZ ENV-be (a továbbiakban NAD, Nemzeti Alkalmazási Dokumentum) történo átvétele. Jelen cikk tárgya az ebben javasolt algoritmussal és a pontosított nyomaték-görbületi módszeren alapuló eljárással végzett számítások ismertetése és összehasonlítása.

1. AZ EUROCODE-2-BEN SZEREPLO JAVASLAT

Az EC-2 2001. októberi módosítása [1] épületek esetén (nem építmény!) a nyomott oszlop másodrendu igénybevételeinek számítására a következo megoldásokat javasolja:

a) általános, másodrendu elméleten alapuló nemlineáris vizsgálat,
b) másodrendu számítás, helyettesíto merevséggel,
c) a görbület becslésén alapuló eljárás.

A gyakorlati számítás céljára leginkább a “c” jelu módszer terjedt el és az EC-2 is elsosorban ezt ajánlja a különálló, hossza mentén állandó normálerovel terhelt, jól meghatározott ℓ_0 kihajlási hosszú oszlop vizsgálatára, mely e cikknek is tárgya.

Lényegében ezt a görbület becslésén alapuló módszert tartalmazta az EC-2 korábbi változata is, de a kúszás figyelembevétele nélkül. A módosított eloírás röviden az alábbi módon foglalható össze:

A hajlítónyomaték értéke az a-a befogási keresztmetszetben (3. ábra):

$$M_{Sd} = M_{0Sd} + M_2 \tag{1}$$

ahol: M_{0Sd} az elsorendu nyomaték, mely a kezdeti külpontosság és az alakhiba következménye; M_2 a névleges másodrendu nyomaték.

[*] okl. építomérnök, okl. mérnök-matematikai szakmérnök, dr. techn., tudományos munkatárs, MTA-BME Vasbeton Kutatócsoport

Az M_{0Sd} elsorendu nyomaték – az EC eredeti [2] eloírásai szerint – befogott konzol esetén a kezdeti e_0 külpontosságból és az alakhibából:

$$M_{0Sd} = N_{Sd}\left(e_0 + e_a\right) \quad \text{ahol:} \quad e_a = \frac{1}{200}\frac{\ell_0}{2} = \frac{\ell}{200} \tag{2}$$

$\ell_0 = 2\ell$ az oszlop kihajlási- és ℓ a tényleges hossza, N_{Sd} a normálero tervezési értéke.
Az M_2 másodrendu nyomaték az alábbi összefüggésbol számítható:

$$M_2 = N_{Sd} e_2 \tag{3}$$

ahol: e_2 a tetoponti eltolódás, mely a kihajlott alakra vonatkozó $y = e_2 \sin(\pi x/\ell_0)$ ill. a befogásnál $y'' = 1/r = e_2 (\pi/\ell_0)^2$ összefüggésekbol:

$$e_2 = \frac{1}{r}\frac{\ell_0^2}{c} \tag{4}$$

A fenti összefüggésben $c = 10\ (\approx p^2)$;
$\frac{1}{r}$ esetünkben a befogási keresztmetszet görbülete. Ezt a görbületet az

$$\frac{1}{r} = K_r K_f \frac{1}{r_0} \tag{5}$$

összefüggésbol számíthatjuk, ahol:

$\frac{1}{r_0} = \frac{e_{yd}}{0.45d}$ az acél $e_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s}$ folyási nyúlása alapján becsült görbület;

$K_r = \frac{N_{ud} - N_{Sd}}{N_{ud} - N_{bal}}$ a normálerotol függo módosító tényezo, kis külpontosság esetén, ahol N_{ud} az oszlopkeresztmetszet teherbírási vonalának 1-es, az N_{bal} a 2-es pontjához tartozó normálero.

K_F a kúszás figyelembevételére szolgáló növelo tényezo a

$$K_f = 1 + b f_{eff} \tag{6}$$

összefüggésbol számítható, ahol:

F_{eff} a tartós teherhányad szerinti effektív kúszási tényezo;

$b = 0.35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{l}{150}$, melyben f_{ck} a beton karakterisztikus nyomószilárdsága;

l a karcsúsági tényezo.

A NAD-MSZ ENV a fenti algoritmust oly módon implementálja, hogy a tartós teherhányadot ½-nek, és ezzel az effektív kúszási tényezot F_{eff} = 1-nek veszi fel, továbbá a b második két tagját elhanyagolja. Így minden esetben $K_f = 1.35$.

2. A NYOMATÉK-GÖRBÜLET ÖSSZEFÜGGÉSEN ALAPULÓ MÓDSZER

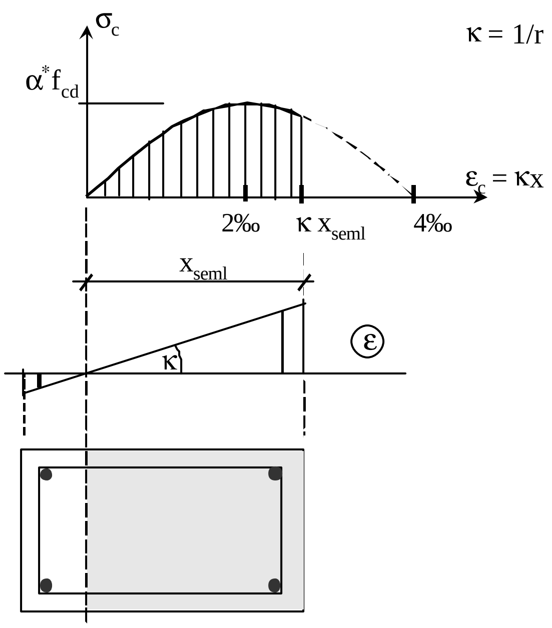
Az oszlop nyomaték-görbület összefüggésen alapuló, pontosított vizsgálatához a keresztmetszetek adott normálerohöz tartozó nyomaték-görbület kapcsolatát használjuk fel. A függvénykapcsolat eloállításához növekvo k_i görbületeket veszünk fel. A k_i értékekhez az anyagtörvénybol és a normális irányú vetületi egyensúlyból az

$$N_{Sd} = N(k_i, x_i) \tag{7}$$

egyenlet segítségével meghatározzuk a semleges tengely x_i helyzetét. Az összetartozó k_i és x_i birtokában az anyagtörvény felhasználásával az

$$M_{Sd} = M[k_i, x_i(k_i, N_{Sd})] \tag{8}$$

összefüggésbol számítjuk az adott normálerohöz és görbülethez tartozó, belso nyomatékot. A számításokhoz anyagtörvényként az ismert Collins-féle s-e diagrammot [3] használjuk, mely a beton viselkedését az EC szerinti téglalap alakú diagrammnál pontosabban írja le (1. ábra).



1. ábra. Beton nyomófeszültségek az oszlopban Collins-féle anyagtörvénnyel.

A beton kúszását az EUROCODE-hoz hasonlóan a lineáris kúszási elmélet szerint, az

$$E_{eff} = \frac{1}{1+f_{eff}} \qquad \text{ahol:} \qquad f_{eff} = f\,\frac{M_g}{M_{tot}} \tag{9}$$

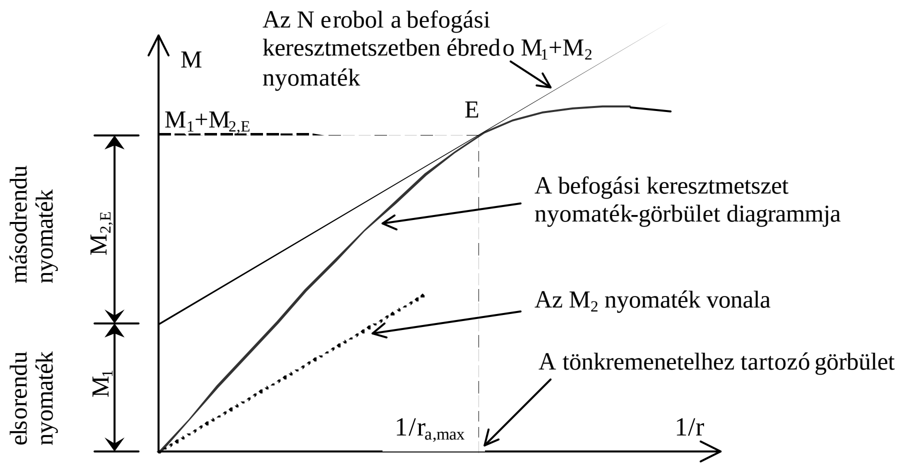
effektív rugalmassági modulussal vettük figyelembe, mely a Collins-féle görbe (1. ábra) egy e tengely irányú nyújtásának felel meg. A (9) összefüggésben a M_g/M_{tot} hányados a tartós teherhányadnak felel meg, melyet a NAD-dal azonos módon ½-re vettük fel. Az 1. ábrában a görbe tetopontját meghatározó α^* tényezot ugyancsak az összehasonlíthatóság érdekében úgy állítottuk be, hogy a téglalap alakú s - e görbével és a Collins-féle anyagtörvénnyel kapható teherbírási vonalak eltérése minimális legyen.

Határállapotban az oszlop kihajlási alakját az EC-ben szereplo modellel összhangban negyed szinusz-hullámként tételezzük fel. A tetoponti eltolódás és a befogási keresztmetszet görbületének kapcsolatát az alábbi három egyenlet fejezi ki:

$$e_f = \frac{1}{r_a}\left(\frac{\ell_0}{p}\right)^2 \qquad M_a = Ne_f \qquad M_a = M\left(\frac{1}{r_a}, N\right) \tag{10}$$

ahol: $1/r_a$ a befogási keresztmetszet görbülete, e_f az oszlop tetoponti eltolódása, M_a a befogási keresztmetszet nyomatéki igénybevétele.

A számítás célszeruen nem az adott hosszúságú oszlop maximális terhelhetoségének keresésével, hanem az adott normálerohöz tartozó – stabilitásvesztés határhelyzetét eloidézo – oszlophossz kiszámításával végezheto el. A stabilitásvesztés határhelyzetében az M_1+M_2 egyenese a nyomaték-görbület diagrammot éppen csak érinti, azaz egyedül az E pont képvisel (nem stabil) egyensúlyi helyzetet (2. ábra).



2. ábra. Adott N normálerohöz tartozó nyomaték-görbület diagramm az oszlop befogási keresztmetszetében.

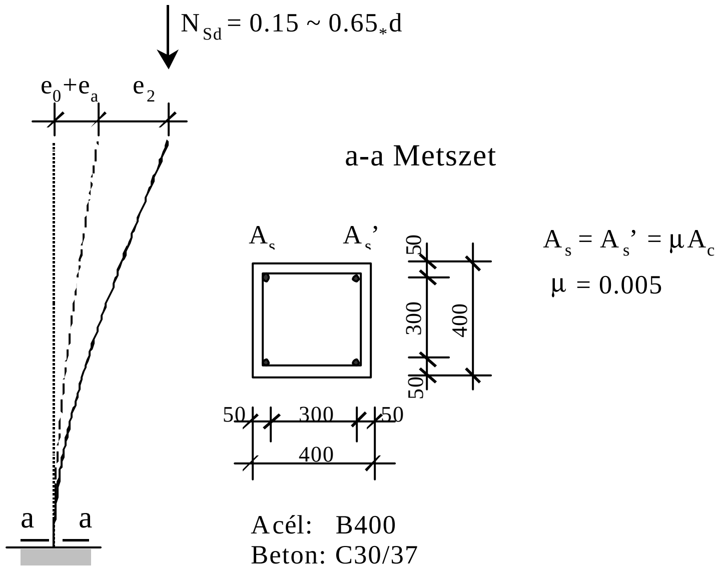
A feladat megoldása a fenti nyomaték-görbület diagrammon egy olyan E érintési pont megkeresését jelenti, ahol az ábra szerinti $M_1(\ell)$ és $M_2(\ell)$ nyomatékokhoz azonos ℓ hossz tartozik a (11) összefüggések alapján.

$$M_1(\ell) = N\left(e_0 + \frac{\ell}{200}\right) \qquad M_2(\ell) = N\frac{1}{r_{a,\max}}\left(\frac{2\ell}{p}\right)^2 \tag{11}$$

Az oszlophosszak iterációs számításához MATLAB programot készítettem.

3. ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATOK

Az elozo két fejezetben ismertetett vizsgálatot a 3. ábrán látható oszlopon végeztem el. A kezdeti e_0 külpontosság értéke zérus volt.

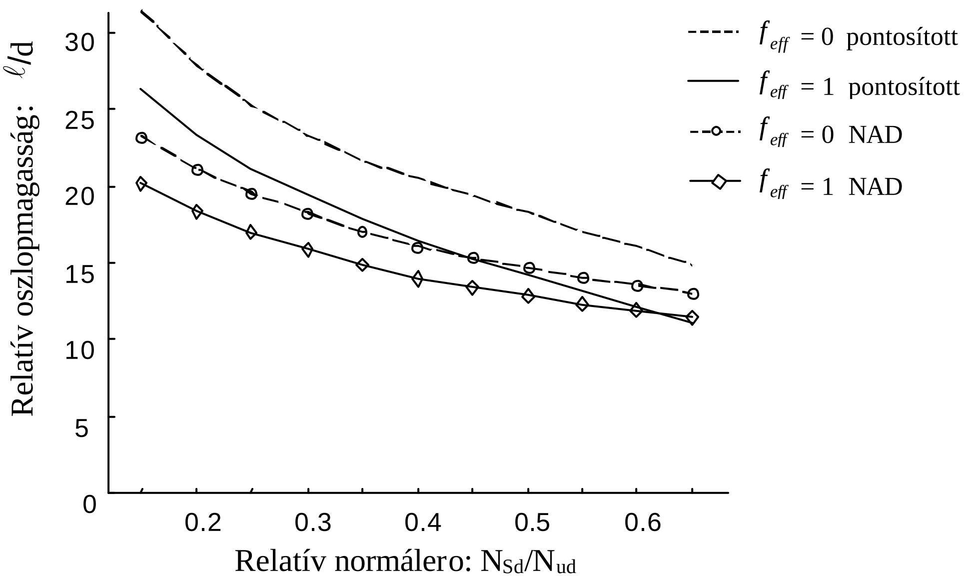


3. ábra. A vizsgált oszlop változó normálerovel.

Ennek során összehasonlítottam az elozo fejezetben ismertetett nyomaték-görbület kapcsolaton alapuló módszert, az EUROCODE-2 eredeti, valamint a legújabb módosítása szerinti számításból kapott eredményekkel. A fenti esetekre a normálero függvényében kapott maximális – a stabilitási határállapotot adó – oszlophosszakat a dimenziótlanított 4. ábra tünteti fel. A görbék alapján megállapítható, hogy

- Kis normálero esetén a pontosított számítás számottevoen magasabb oszlopot enged meg, mint az EC. Ennek oka az, hogy az EC kis normálerokre a görbületet némileg túlbecsüli.
- A normálero növelésével a kimutatható teherbírási többlet csökken, azaz az EC szerinti görbe "meredeksége" kisebb, mivel a becsült $1/r_0 = e_{yd}/0.45d$ másodrendu görbületet a K_r tényezo gyorsan lecsökkenti.

– A kúszás (f_{eff} = 1) figyelembevétele mellett a pontosított számítás szerinti teherbírási többlet valamivel kisebb.



4. ábra. Relatív oszlophosszak a normálero függvényében

Az EC-vel ill. a NAD-dal kapcsolatban egy további észrevétel is teheto. Az a nyomaték, melybol az e_0 külpontosság származik, ugyancsak okoz görbületet. Az [1] szerinti számításban nem szerepel ezen nyomaték okozta kúszás. Ennek figyelembevétele is indokolt lenne. Az EC betonhidakra vonatkozó [4] eloírásában található erre vonatkozó összefüggés.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a cikk a Támogatott Kutatóhelyek Irodájához tartozó Vasbeton Kutatócsoportban folyó kutatómunka keretében készült, melyhez a T-032055 nyilvántartási számú OTKA is támogatást nyújtott.

HIVATKOZÁSOK

[1] Draft prEN 1992-1-1 Design of Concrete Structures, General Rules and Rules for Buildings (Final Draft) 2001 október

[2] NAD MSZ-ENV 1992-1-1 Betonszerkezetek tervezése. Általános és az épületekre vonatkozó szabályok.

[3] M. P. Collins: Prestressed Concrete Structures (A Post-Graduate Course at the University of Canterbury). 1983.

[4] ENV 1992-2 Design of Concrete Structures, Concrete Bridges