

# VASBETON OSZLOPOK MEGERŐSÍTÉSE INJEKTÁLT ACÉLCSŐVEL

Varga László\*

## RÖVID KIVONAT

Manapság az épületek funkcióváltása vagy a leromlott állapota miatt gyakran kell azok szerkezeteit, főként vasbeton oszlopait megerősíteni. Nemcsak a korábbi terv szerinti teherbírást kell helyreállítani, de sok esetben a megnövekedett terhelés miatt is szükség van az erősítésre. Erre több lehetőség is kínálkozik kezdve a fellőtt vasalt betonkéregtől a merevbetétes megerősítésig. A cikk egy további lehetséges megoldást ismertet: a kör keresztmetszetű kiinjektált acélcsővel történő megerősítést. A dolgozat elsősorban nem praktikus mérnöki ismereteket közöl, hanem e szerkezeti elem erőjátékának alaposabb megértéséhez próbál segítséget adni.

## 1. BEVEZETÉS

A mérnöki tervezési tevékenység során nem jelentéktelen azon munkák száma, melyek a szerkezet megerősítéséről, azon belül is az oszlopok megerősítéséről szólnak. Az oszlopok megfelelő mértékű biztonságos teherbírása alapvető a szerkezet egészének biztonsága szempontjából. Míg a hajlított, vízszintes teherviselő elemek tönkremenetele általában nem veszélyezteti az egész szerkezet állékonyságát, vagyis legfeljebb kis alapterületű részek korlátozott mértékű károsodását okozza, addig akár egyetlen oszlop törése is kérdésessé teheti egy teljes szerkezet vagy annak nagyobb részének állékonyságát. Ezért rendkívül fontos e szerkezeti elem erőjátékának minél alaposabb ismerete.

A teherviselő szerkezetek lényeges részét képező oszlopok megerősítése három esetben válhat szükségessé:

- a beton szilárdságának valamilyen ok miatt bekövetkezett csökkenése (pl. a beton vegyi átalakulása úgy mint a bauxitbeton esetében), de ide sorolható az építmény üzemelése folyamán az oszlopot vagy oszlopokat ért mechanikai sérülés is;
- a régi építmény esetén a funkcióváltás miatt megnövekedő teherbírási igény, mely lehet csak helyi, néhány oszlopra kiterjedő, de akár általános is;
- új szerkezet építése közben betontechnológiai hiba miatt a terv szerintinél kisebb betonszilárdság.

Az oszlop megerősítésére több lehetőség kínálkozik:

- lövellt beton alkalmazásával készülő erősítő köpeny;
- a sarkokon elhelyezett idomacél, (általában szögvas) hevederekkel összefogva, azaz ösvérszerkezetes erősítés;

---

\* okl. építőmérnök, műszaki doktor, egyetemi adjunktus, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

- műgyantába ágyazott, alapvetően üveg vagy szénszál tartalmú kéreg felhordása az oszlop felszínére monolitikus vagy előregyártott kivitelben;
- az általában négyszög keresztmetszet köré helyezhető, hosszában kettévágott, majd elhelyezés után összehegesztett és injektált acélcső;

Léteznek egyéb nagyon ritkán alkalmazott megoldások is, melyek a teherbírás növelésén túl egyéb igényeket is kielégítenek.

## 2. ACÉLCSŐVEL TÖRTÉNŐ ERŐSÍTÉSRŐL

A szerkezetek többségében lévő oszlopok keresztmetszete általában négyzet. Ez főleg a mindkét irányban merevített és zömében szabályos alaprajzi elhelyezésű – négyzet raszterra elhelyezett - oszlopokra igaz. Ilyenkor az oszlopokra ható nyomaték minimális, kiváltképp előregyártott szerkezet esetén. Így az oszlop erősítése alapvetően az axiális teherbírásának növelését jelenti. Ilyenkor lehet a célszerű erősítési mód az acélcsővel történő erősítés. A hosszirányban előzetesen kettévágott, majd az erősítendő oszlophoz történő elhelyezés után összehegesztett két fél csövet csak injektálni kell megfelelően megválasztott betonnal. Ugyanakkor kiegészíthető e megoldás alsó és felső teherátadó gallérokkal főleg akkor, ha a megtámasztott lemez átszűrődási vonalát a teherbírás növelése érdekében növelni kell.

A megoldás előnyei nyilvánvalóak:

- gyors építhetőség
- szerelő jellegű munka
- kész felület
- nagy teherbírási növekmény
- az erősítés nem jár az új rész betonjának zsugorodásával.

A megoldás hátrányai:

- a fél csövek viszonylag nagy tömege
- a kivitelezéshez az átlagosnál szakképzettebb munkaerő szükséges
- megfelelő betontechnológiát igényel

Mivel meglévő szerkezet erősítéséről van szó, ezért természetesen figyelembe kell venni, hogy a meglévő oszlopok már egy bizonyos nagyságú terhet hordanak és tényleges geometriai és anyagszilárdsági jellemzőkkel bírnak. Emiatt feltétlenül szükséges a mértékadó állapotban lévő oszlop alapos erőtani vizsgálata az erősítés előtti helyzetre. Ez azt jelenti, hogy el kell végezni az anyagszilárdsági vizsgálatokat, fel kell mérni a szerkezet és szerkezeti elemek geometriáját és a működő terheket. A beton szilárdságának meghatározását lehetőleg roncsolásos úton is elvégezni, azaz kifűrt magminták törésével, és a próbatestek törése során célszerű meghatározni a beton tényleges  $\sigma$ - $\epsilon$  diagramját. Amennyiben lehetőség van rá, célszerű a magminta-vételi helyeken fűrés előtt és a magmintán fűrés után alakváltozás mérést végezni, így mód nyílik az oszlop adott keresztmetszete sajátfeszültségi állapotának kimérésre. Ez nagyban növeli az egész tervezési munka megbízhatóságát. Ugyanakkor az ellenőrző erőtani számításhoz alapvető fontosságú a statikai váz helyes meghatározása is.

A megfelelő erőtani viselkedés szempontjából fontos a megerősített oszlop bármely keresztmetszetében a régi és az új rész tökéletes együttműködése. Ennek természetesen feltétele az oszlop és az acélcső közötti ür tökéletes kiinjektálása. Ennek érdeké-

ben megfelelően megválasztott és szükséges adalékanyagokkal ellátott betont kell használni. Az injektálást az oszlop alján négy csonkon keresztül kell végezni egészen addig, amíg az oszlop tetején meg nem jelenik az injektáló anyag.

### 3. A MEGERŐSÍTETT SZERKEZET ERŐJÁTÉKA

A megerősített oszlop erőjátéka alapvetően a kibetonozott acélcső oszlop erőjátékával azonos, hiszen a régi, lecsupaszított oszlop és a kiinjektált acélcső megfelelő kivitelezés esetén tökéletesen együttműködnek. Ismert, hogy az ilyen oszlopok egy keresztmetszetének teherbírását nemcsak a beton és az acélcső keresztmetszete egytengelyű teherbírásának egyszerű összege határozza meg, hanem a cső oldalirányú megtámasztó hatása miatt a betonmagban többtengelyű feszültségi állapot alakul ki, ami a beton tengelyirányú szilárdságát megnöveli, s ezt is figyelembe lehet venni. E szilárdságnövekmény meghatározása szabványonként eltérő lehet, de általában két alapvető hatást vesznek figyelembe. Az egyik hatás az acélcső betonmagra gyakorolt közvetlen megtámasztó hatása, melynek alapján a szilárdságnövekmény egy felső korlátját lehet meghatározni. E szilárdságnövekmény a cső gyűrűirányú teherbírásától ( $f_y t$ ) és a betonmagban sugárirányban keletkező nyomóerő ( $d f_{ck}$ ) hányadosával arányos. A másik hatás e szilárdságnövekmény oszlop alkotója mentén történő elenyészése [1]. Bár egyszerűen belátható, hogy a szilárdságnövekmény közvetlenül nem függ össze a rúd karcsúságával (hajlékonyságával), mégis az előírások a számítási eljárásokban azzal kapcsolják össze

Az MSZ ENV 1994-1-1 szerint - az MSZ 15022-86 szabványhoz nagyon hasonlóan - a betonszilárdság értéke megnövelhető egy

$$(1 + \eta_1) \frac{f_y t}{d f_{ck}}$$

tényezővel. E tényezőben

$$\eta_1 = \eta_{10} \left( 1 - 10 \frac{e}{d} \right), \text{ illetve } e = 0 \text{ elvi központos nyomás esetén csak}$$

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

tényezők csökkentik a beton szilárdságnövekményének értékét az oszlop viszonyított karcsúságának – közvetve hosszának - függvényében.

A viszonyított karcsúság

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{Rd}}{N_{cr}}},$$

ahol az oszlop  $N_{cr}$  rugalmas kritikus erejét a következő képlet szerint lehet kiszámolni:

$$N_{cr} = \pi^2 \frac{(EI)_e}{l^2}; \text{ itt}$$

$$(EI)_e = E_a I_a + 0,8 E_{cd} I_c + E_s I_s .$$

Az MSZ 15022-86 szabvány a beton szilárdságnövekményét az EC-hoz hasonlóan számolja, e hatás oszlop hossza szerinti csökkenését viszont sokkal egyszerűbben a következő képlet szerint:

$$m = 10 \frac{d}{l_0} \leq 1.$$

Bár a szabályzatokban nem szerepel, érdemes megfontolni a teherátadás módjának a hatását az oszlop erőjátékára. A teher átadására három lehetőség van:

- a./ csak a betonmagon
- b./ a teljes keresztmetszeten (acélköpenyen és betonmagon együtt)
- c./ csak az acélköpenyen.

### 3.1. A betonmagon terhelt oszlop erőjátéka

A betonmagon terhelt oszlop esetében a terhelő erő a véglaptól távolodva fokozatosan átadódik az acél köpenyre. A betonmag és az acélköpeny közötti erőátadás mechanizmusa meglehetősen bonyolult, s a következő fő összetevői vannak:

- tapadás a két – acél köpeny és a beton mag - felület között,
- a cső mikroszkopikus felületi egyenetlenségei miatti kapcsolat,
- súrlódás a két felület között,
- a cső és a betonmag közötti kényszer (befeszülési) kapcsolat, azaz görbületváltozásából, illetve a cső alaki hibájából származó befeszülés.

A kísérletek tapasztalatai szerint az első két hatás kisebb és a terhelési folyamat kezdetén játszik szerepet az erőátadásban, míg a két másik jelenség hatása nagyobb és az oszlop nagyobb alakváltozásakor játszanak szerepet.

A tapadás rugalmas-merev kapcsolat, s az erőátadásban csak addig játszik szerepet, míg a csőfal és a betonfelület közötti elmozdulás el nem éri a 0,01 mm-t. Amennyiben a betonmag zsugorodása már korábban fellép, akkor e hatás még kisebb. Az acélfelület mikroszkopikus egyenetlenségei miatti kapcsolati erő a beton törési összenyomódásáig, azaz ~3,5 ‰ fajlagos összenyomódásig működik. A kísérletekben azt találták, hogy a felületi egyenetlenség növekedése egyben növelte a tapadási szilárdságot is.

A két felület között kifejlődött súrlódás a normálerő miatti betonmag oldalirányú kitérése nagyságától függ, melyet az acélcső akadályoz. Emiatt nagysága szorosan összefügg a cső gyűrűirányú húzómerevségével és az átmérőjével. A másik összetevő maga a súrlódási tényező. Ezt többen kitolóvizsgálatok eredményei alapján határozták meg. A vizsgálati eredmények alapján a súrlódási tényező értékét 0,2 és 0,6 között találták. A kísérletek azzal a tanulsággal is jártak, hogy a súrlódási erő függ a keresztmetszet alakjától is. Azonos feltételek között körszelvényű oszlop esetén a nagyobb súrlódó erőt mértek, mint négyszögszelvény esetén.

A kényszer (befeszülési) kapcsolati erő, azaz terhelés közbeni görbületváltozásból, illetve a cső alaki hibájából származó kapcsolati erő függ a terhelő erőtől, a cső alaki hibájától, a görbülettől, az oszlop hosszától, a teher külpontosságától, valamint a köpeny és a betonmag közötti relatív elmozdulás nagyságától. A kísérletek tapasztalatai szerint a kapcsolati erő csökken, ha csökken az oszlop hossza, és növekszik, ha nő a

teher külpontossága. A nagy külpontosságú nyomás tartományában már ez a döntő hatás a teher megosztásában [2].

A kísérletek további tapasztalata az volt, hogy a beton tömörségének javulása mind a négy erőátadási mechanizmust javította. Ugyanakkor nem tapasztalták a tapadás növekedését a beton szilárdságának növelésével és egyéb tényező növelése esetén sem.

Az erőátadási hosszt kísérleti úton vizsgálva a kutatók azt kapták, hogy az összefügg az alkalmazott cső átmérőjével. A terhelő erő jelentős része az alkotó mentén meglehetősen rövid úton átadódik az acél palástra. A következő fényképen jól láthatóak a Lüders-féle folyási vonalak, amik azt jelzik, hogy a véglaptól átmérőnyi távolságra törési állapotba került a betonmagon terhelt oszlop köpenye a betonmag beboltozódásából keletkező nagy sugárirányú erő miatt. E jelenséget érdemes összevetni az EC azon előírásával miszerint a kibetonozott cső palástján legfeljebb  $\tau = 0,4 \text{ N/mm}^2$  fajlagos kapcsolati erő feltételezhető két átmérőnyi hosszon. A fényképen látható cső átmérője 160 mm, a terhelő erő pedig 1200 kN.

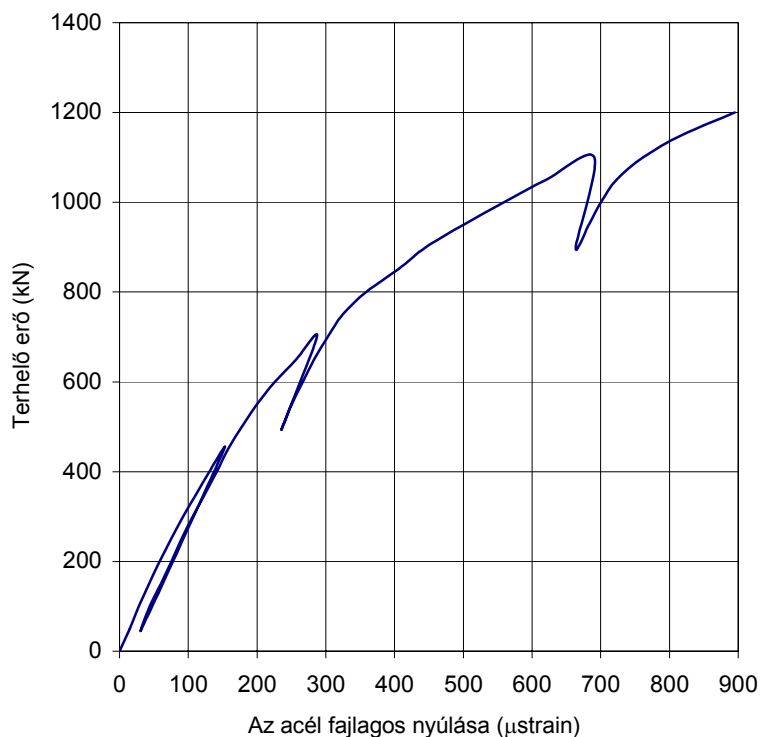


1. sz. fénykép Folyási vonalak a magon terhelt oszlop végén

A terhelési folyamat során a cső palástján elhelyezett nyúlásmérő bélyegekkel is mérték a palást alakváltozási állapotát. A  $\sim 6 \cdot d$  hosszúságú oszlopok terhelési vizsgálata esetén a mérések eredményei alapján a következők állapíthatók meg:

- a betonmag rövid hosszon beboltozódik és átadja a terhelő erő jelentős részét az acélköpenynek;
- az oszlop középső keresztmetszetében közel a beton egytengelyű szilárdsága alapján számítható teherrészt visel a betonmag;
- a terhelés növekedésével a betonban ébredő feszültség (erő) a tényleges  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagramnak megfelelően nő, azaz az oszlop egyenletes összenyomódásakor a betonfeszültség növekedése csökkenő ütemű, s ezért az acélcső fokozatosan nagyobb hányadot visel a teherből. Ez a magyarázata annak, hogy a terhelőerő egyenletes növekedésének függvényében az alkotóirányú acélnyúlások nem lineárisan, hanem progresszíven nőnek annak ellenére, hogy az acélkeresztmetszet még rugalmas tartományban van. E jelenség szemléltetésére mutatjuk be a következő 1. ábrát.

A beboltozódási mechanizmus tanulmányozására csak (kohézió nélküli és tömörödő) homokkal töltött acélső teherbírását is vizsgáltuk. A cső 160 mm átmérőjű, 4,8 mm falvastagságú és 900 mm hosszúságú volt. A központos terhelést egy végtelen merev vaskoronggal csak a homok felületén adtuk át. A palástra a középső keresztmetszettől kiindulva 100 mm távolságra öt rozettát, három irányban mérő nyúlásmérő bélyeget



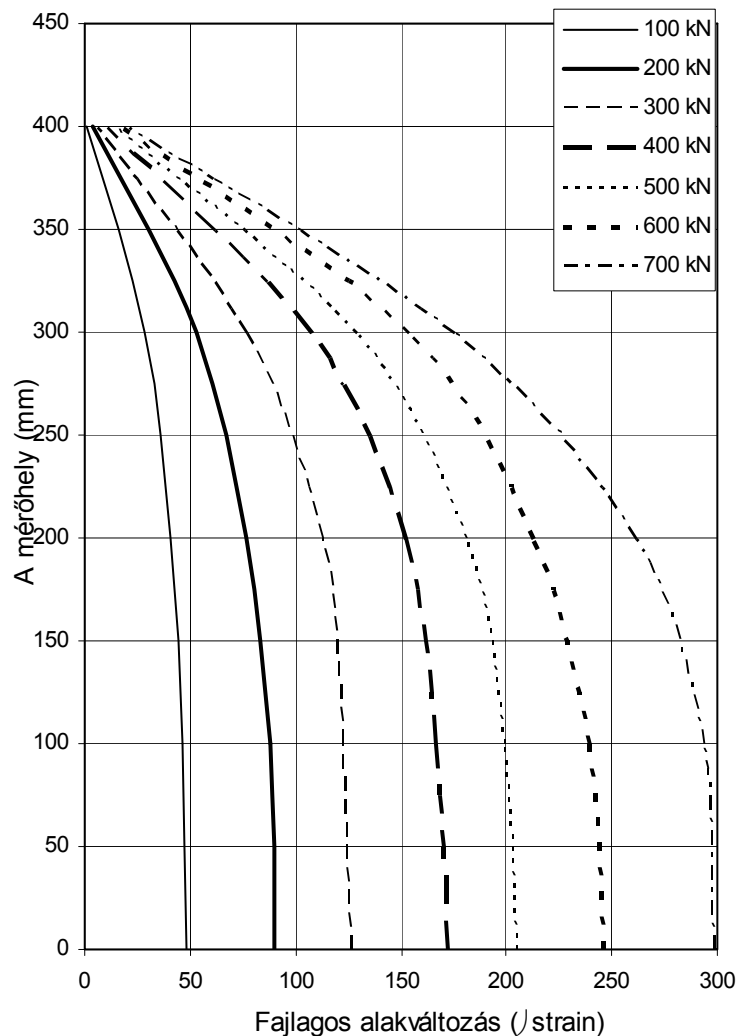
1. ábra Az alkotóirányú acél összenyomódások változása

ragasztottunk fel. Annak közvetlen ellenőrzésére, hogy az oszlop középső keresztmetszetében ténylegesen annyira alacsony tengelyirányú feszültségek lépnek-e fel, egy talajfeszültségmérő cellát építettünk be. A terhelés során az erőjáték teljesen a betonnal töltött csőéhez hasonlított. A terheléses vizsgálatok tapasztalatai szerint a „kihomokozott” oszlop teherbírása alig haladta meg az ellenőrzésként üresen törésig terhelt csőét, s a cső középső keresztmetszeténél elhelyezett talajnyomás mérő cella a cső törésekor is csak  $p = 7 \text{ N/mm}^2$  homokfeszültséget mért. Ez azt jelentette, hogy a terhelő erő beboltozódás révén itt is átadódott a köpenyre. E mérési eredményt igazolta a paláston alkotó- és gyűrűirányban elhelyezett nyúlásmérő bélyegek által mért nyúlási értékek kiértékelése alapján készült diagram is. A diagramon jól látható, hogy a boltozódási zóna már két átmérőnyi hosszra felépül. A törőerő értéke 808 kN volt.

### 3.2. A teljes keresztmetszeten terhelt oszlop erőjátéka

Bár ez a terhelési mód nem fordulhat elő erősítés esetén, a teljesség kedvéért azonban röviden foglalkozunk vele. A kísérletek általános tapasztalata az volt, hogy e terhelési mód esetén mért törési eredmények gyakorlatilag megegyeznek a betonmagon

terhelt eset törőerőivel. Gyakorlatilag csak az oszlop végének átmérőnyi környezetében tér el az erőjáték egymástól. Az erőjáték jellegzetessége utal az a tapasztalat is, mely szerint a terhelés kezdeti alacsonyabb szintjén az acélső kerületirányban nyomott, azaz



2. ábra A homokmag beboltozódása

a betonmag befele húzza. Ennek kézenfekvő magyarázata a beton és az acél eltérő Poisson-tényezője (0,16-0,33). Az azonos tengelyirányú nyúlás miatt ezért a beton sugárirányban kevésbé tágul, mint az acél, s a két felület tapadása miatt áll elő ez a furcsának tetsző helyzet.

### 3.3. Az acélsövön terhelt oszlop erőjátéka

A kísérletek tapasztalatai szerint csak az acélsövön terhelt oszlop teherbírása gyakorlatilag megegyezik az üres cső teherbírásával [3]. A betonkitöltés szilárdsága nem játszik érzékelhető szerepet az oszlop teherbírásában. A tönkremenetel az erőátadás környezetében helyi horpadás miatt következik be.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben ismertetjük az acélcsővel erősített vasbeton oszlop erőjátékát. Bár az acélcső összehegesztése és injektálása után az oszlop tetején a betonkeresztmetszet lesz továbbra is terhelve, az oszlop végső teherbírását a két keresztmetszet együttes teherbírása adja. Mivel a betonkeresztmetszetről a terhelő erő jelentős része beboltozódás révén rövid hosszon átadódik az acélcsőre, ezért ott nagy gyűrűirányú feszültség ébred. Emiatt fokozott figyelmet kell fordítani a hegesztés minőségére.

## JELÖLÉSEK

$d$ [mm]	- cső átmérő
$e$ [mm]	- erő külpontossága
$(EI)_e$ [kNmm <sup>2</sup> ]	- összetett keresztmetszet hajlítási merevsége
$E_a$ [N/mm <sup>2</sup> ]	- cső anyagának rugalmassági modulusza
$E_{cd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	- beton rugalmassági modulusza
$E_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]	- betonvas rugalmassági modulusza
$f_{ck}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	- betonszilárdság karakterisztikus értéke
$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	- acélszilárdság karakterisztikus értéke
$I_a$ [mm <sup>4</sup> ]	- cső inercianyomatéka
$I_c$ [mm <sup>4</sup> ]	- betonkeresztmetszet inercianyomatéka
$I_s$ [mm <sup>4</sup> ]	- betonvas inercianyomatéka az összetett keresztmetszet súlypontjára
$l$ [mm]	- oszlop hossza
$l_o$ [mm]	- oszlop kihajlási hossza
$\bar{\lambda}$	- relatív karcsúság
$N_{cr}$ [kN]	- oszlop rugalmas kritikus ereje
$N_{Rd}$ [kN]	- oszlop teherbírása
$t$ [mm]	- csőfal vastagság
$\tau$ [N/mm <sup>2</sup> ]	- csúsztatószilárdság

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Varga L.: Acélköpenyes rúd teherbírásáról *Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle* XLIV. évfolyam, 1994. 2-3. szám
- [2] Johansson, M.: Structural Behaviour of Circular Steel-Concrete Composite Column, *Thesis for Degree of Licentiate of Engineering* Göteborg, Sweden 2000
- [3] Varga L.: Köpenyen terhelt kibetonozott acélcső oszlop erőjátéka, *Közlekedésépítés- és Mélyépítéstudományi Szemle* XXXVIII. évfolyam, 1988. 4. szám