

# Betontechnológiai és erőtani kérdések a pörgetett vasbeton oszlopok esetén

## Structural and concrete technological problems of spun cast reinforced concrete columns

VÖLGYI István<sup>1</sup> - Dr. FARKAS György<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszéke, 1111 Budapest, Bertalan Lajos utca 2. Tel: 0036-1-4631741; Fax: 0036-1-4631784; [volgyi@vbt.bme.hu](mailto:volgyi@vbt.bme.hu)

<sup>2</sup>Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszéke, 1111 Budapest, Bertalan Lajos utca 2. Tel: 0036-1-4631751; Fax: 0036-1-4631784; [farkas@vbt.bme.hu](mailto:farkas@vbt.bme.hu)

### Abstract

*The spun cast concrete manufacturing capacity of Hungarian reinforced concrete factories has been broadening greatly last decades. Today it has already exceeded the demand of the conventional application fields. Therefore, the structural applications of the pre-cast spun concrete columns would be one possibility, mainly in order to tie the manufacturing capacity. The structural application is wide-spreading in Western Europe as well. It raises a large number of engineering/mechanical problems. The special compaction method requires an approach from the point of view of the strength characteristic of concrete. Our research tends to the investigation of resistance of reinforced concrete columns with annular cross-sections subjected to shear and bending. As a first part of the research some results are presented in this topic.*

### Rövid kivonat

*A magyarországi vasbeton előregyártó üzemek pörgetett vasbeton előállító kapacitása az utóbbi évtizedben jelentősen bővült, és ma már meghaladja a hagyományos felhasználási területek keresletét. Ezért felvetődött a pörgetett vasbeton oszlopok magasépítési alkalmazása, elsősorban a gyártói kapacitások lekötésének céljából. A magasépítési alkalmazás Nyugat-Európában is elterjedőben van. Ez azonban számos erőtani kérdést vet fel. A speciális tömörítési mód szükségessé teszi, hogy az erőtani kérdéseket a beton szilárdsági jellemzőinek oldaláról közelítsük. Kutatási tevékenységbe kezdtünk a körgyűrű keresztmetszetű vasbeton oszlopok nyírási-hajlítási ellenállásának vizsgálatára. A cikk néhány eredményt mutat be a fenti témakörökben a kutatás mai állásának megfelelően.*

### Kulcsszavak

*Pörgetett oszlop, betontechnológia, szilárdság, nyírási teherbírás*

## 1. BEVEZETÉS

A pörgetett oszlopok technológiája mintegy 15 éve honosodott meg Magyarországon. Azóta jelentősen bővült a gyártói kapacitás. A technológia jelenlegi fő alkalmazásai: távvezeték és közvilágítási oszlopokként, oszlopgyámként hálózatépítésben, vert cölöpökként mélyépítésben, reklámoszlopokként, esztétikai oszlopokként. Nyugat-Európában kezd betörni a merevített, félmonolit épületek teherviselő, előregyártott magasépítési oszlopainak piacára. E szerkezetek oszlopai kis külpontosságú, nagy fajlagos nyomóerővel terheltek.

A merevítetlen magasépítési épületek területén történő alkalmazás olyan követelményeket támaszt a pörgetett vasbeton oszlopokkal szemben, amelyeknek a jelentősége a korábban elterjedt alkalmazásokban nem volt számottevő. A pörgetett vasbeton oszlopok jellegzetes viselkedése részben a gyártástechnológia sajátosságaiból adódik.

## **2. A PÖRGETETT VASBETON OSZLOPOK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJÁRÓL**

Egy betonozó állványra helyezik a körszimmetrikus keresztmetszetű, félbe nyitott sablont. Elhelyezik az előregyártott vasszerelést, majd tömörítés nélkül feltöltik a sablont a betonkeverékkel. A sablon feltöltése tömörítés nélkül mintegy 90%-os térfogati kitöltöttségig lehetséges. A keverék betöltése után a sablon másik felét felhelyezik, és feszítőcsavarokkal rögzítik. Ezt követően a sablont a szabályozható pörgetőpadra emelik, és a terméket meghatározott pörgetési programnak megfelelően tömörítik. A pörgetési utasítás egy gyorsítási szakaszt, egy állandó sebességű időszakot és egy rövid fékezési fázist tartalmaz. A betont a hossz tengely körüli forgó mozgás következtében fellépő centrifugális hatás, illetve az ebből származó nyomás tömöríti.

Általában mintegy 24 óras korban, kiszaluzzák a terméket. A tömörítetlen keverék nem tölti ki teljesen a sablont, ezért a tömörítés után a termék üreges lesz. Az üreg átmérője általában eléri, vagy meghaladja a külső átmérő harmadát.

A keverék a sugár mentén strukturálódik. A pörgéssel egy időben fellépő vibráció a keverék folyósodását okozza, így a cementpépnél nagyobb sűrűségű adalékanyag szemcsék előfordulási valószínűsége a külső tartományba nagyobb, míg a belső tartomány pépdúsabb.

## **3. A PÖRGETETT TECHNOLÓGIA ELŐNYEI, HÁTRÁNYAI**

A bedolgozási módszer nagyon termelékeny, kiváltképp a kör keresztmetszetű elemek esetén, a spirálkengyelek alkalmazhatósága miatt. A beton felülete esztétikus, kivételesen tömör struktúrájú. A pörgetés miatt a beton szilárdsági jellemzői körgyűrű irányban egyenletesebbek, ami jól feszíthetővé teszi az ilyen technológiával készített oszlopokat. A pörgetett szerkezeti elemekkel szemben a vibrációs úton tömörített vasbeton oszlopok szilárdsági és merevségi jellemzői mindig eltérnek a bedolgozási felület közelében. Ez a feszítőerő kihasználtságát, súlyosabb esetben a szerkezeti elem meggörbülését eredményezi. Ugyanakkor hátrány, hogy a betölthetőség, a tömöríthetőség biztosítására és a szétosztályozódás elkerülésére speciális betontechnológia szükséges. Az üreges keresztmetszetek és a sokszor használatos, acél sablonok alkalmazása miatt a csomópontképzés a megszokottnál nehezekebb, vagy speciális szerelvényeket igényel. A beton szilárdsági és merevségi jellemzői változnak a sugár mentén. A szerkezeti elem és a próbakocka tömörítésének különbözősége miatt korlátozottan következtethetünk a kockaszilárdságból a valódi szerkezeti elem szilárdságára.

## **4. PROBLÉMAFELVETÉS**

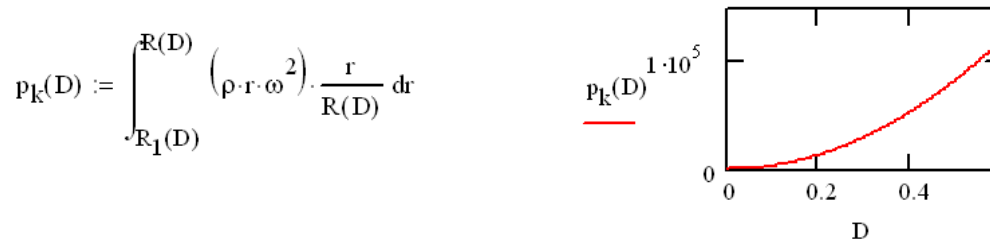
A pörgetett oszlopok gyártására kiépített kapacitások mára meghaladják a keresletet, ezért a gyártók célja a piacbővítés. A pörgetett oszlopok magasépítési szerkezetekben, elsősorban csarnokszerkezetekben történő alkalmazása a cél. A korábbi, jellemzően pusztán normálerővel vagy csúcshúzással terhelt elemek magasépítési alkalmazás esetén jelentős nyíróerővel illetve normálerővel egyidejű hajlítónyomatékkal terheltek. A normálerő és hajlítónyomatéki ellenállás kísérleti meghatározása és számítása a német és osztrák szakirodalomból ismert. Napjainkban növekszik a vasbeton szerkezetek földrengéssel szembeni ellenállásnak jelentősége. Ez teszi szükségessé a szerkezeti elemek duktilitásának vizsgálatát és a kis duktilitású tönkremeneteli módok elkerülését.

Kutatásunkban célul tűztük ki a körgyűrű, pörgetett, vasbeton keresztmetszetek nyírási ellenállásának valamint a keresztmetszet hajlítási duktilitásának vizsgálatát. Az előzőekben vázoltak alapján azonban szükséges, hogy ezeket megelőzze a beton szilárdságának keresztmetszeten belüli alakulásának a kocka/hengerszilárdsággal való kapcsolatát leíró összefüggés meghatározása.

## **5. A SZILÁRDSÁG ALAKULÁSA FALVASTAGSÁG MENTÉN**

A szilárdságnak a falvastagság mentén mérhető változását a következő paraméterek befolyásolják jelentősen: Pörgetés sebessége, ideje, keverék összetétele, mozgékonyasága, kockaszilárdság, adalékanyag típusa, szemeloszlása, péptöbbség, utókezelés. A paraméterek egy részét

szakirodalmi adatok [1] és a technológia igényei alapján rögzíthetjük. A szétosztályozódás elkerülésre gyakorlatilag péptelített keveréket kell készíteni. Szétosztályozódás esetében nyilvánvaló, hogy a próbakocka és a pörgetett oszlop betonjának összetétele jelentősen eltér, így a szilárdságok összehasonlítása nehézkes. A keverék szükséges mozgékonyága, képlékenysége két ellentétes igény optimalizálása útján határozható meg. A kézi feltöltésű sablonban a keveréknek megfelelő halmozhatósággal kell rendelkeznie. Ugyanakkor a falvastagságnak a hossz tengely irányban vett egyenletessége annál jobb, minél mozgékonyabb a keverék. A két igény leginkább 30-40 cm-es terülés értékeknél elégíthető ki. A vizsgálat során a pörgetés sebessége, ideje és a keverék tervezett kockaszilárdsága és a konzisztencia a változtatandó paraméter. Az 1. ábrán látható a folyadékmodell feltételezésével felírt nyomásfüggvény a test átmérőjének függvényében.



1. ábra A külső peremen mérhető nyomás az átmérő függvényében folyadékmodell alkalmazásával

Az ábra jelölései:

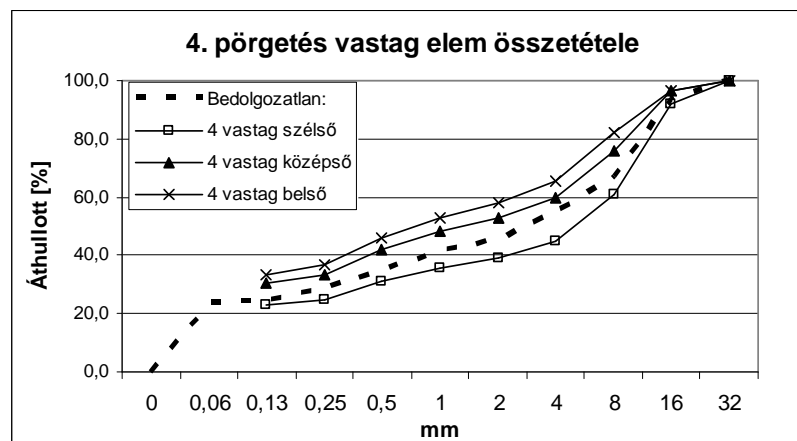
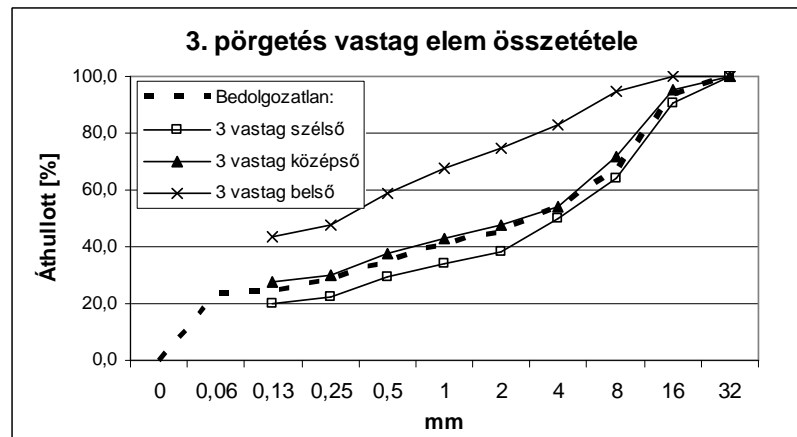
- $p_k$  A külső peremen mérhető nyomás
- $D$  Az elem külső átmérője
- $R$  Az elem külső sugara
- $R_1$  Az elem belső sugara
- $\rho$  A keverék sűrűsége
- $\omega$  A pörgetés szögsebessége

Látható, hogy azonos kerületi sebesség mellett rohamosan növekszik a peremen mérhető nyomás az átmérő növekedésével. Meg kell határozni azt a nyomástartományt, amely kielégítő tömörítést eredményez, de nem okozza a keverék túlvibrálás következtében előálló szétesését. A keverék szükséges összetételének kikísérletezésével párhuzamosan, jelenleg ennek meghatározása folyik.

A strukturálódás mértéke alapvetően a pörgetésből származó tömörítési nyomás nagyságától, a tömörítés időtartamától, a keverék péptöbbletétől és a konzisztenciától függ. Nagyobb tömörítési nyomás, hosszabb tömörítési idő jobb tömörséget és magasabb szilárdságot eredményez a külső tartományban. Ugyanakkor a strukturálódás, szétosztályozódás mértéke egyre nagyobb. A szélső, középső, belső tartomány szemszerkezete egyre inkább eltér. Az, hogy ez a különbség mekkora szilárdságváltozást eredményez, az adalékanyag szilárdságától és a strukturálódástól mentes betonkeverék szilárdságától függ. Magas tervezési szilárdság esetén a cementkő szilárdsága azonos, vagy nagyobb, mint az adalékanyag szilárdsága. Alacsony tervezett szilárdság esetén viszont az adalékanyag szilárdsága a magasabb. Nem szabad elfelejtenünk, hogy a pörgetés során a külső tartományokból a belsőbe kiszoruló pép cementtartalma a bedolgozott keverékét lényegesen meghaladja. Ugyanakkor a szükséges tömörítési munka a keverék mozgékonyágának függvénye. Minél súlyosabb a szétosztályozódás, annál nagyobb péptöbblet halmozódik fel a tartó belső falán. Szükségszerűen a belső tartományban lévő keverék konzisztenciája egyre magasabb lesz. Így a belső felület állékonyságának biztosítása is egyre nehezebb a pörgetés befejezésekor. Fontos követelmény még a pörgetett termékekkel szemben, hogy a vasalást megfelelő tömörséggel fogja körül a keverék.

A BVM Épelem Kft-vel együttműködve eddig 12 pörgetési próbát hajtottunk végre különböző pörgetési sebességeket, pörgetési időt, konzisztenciát és falvastagságot alkalmazva. A képeken a sablonok feltöltése és egy betömörített próbatest látható. Minden pörgetés alkalmával készült 2 db nagyobb és 2db kisebb falvastagságú, 50cm átmérőjű, 20cm hosszúságú elem. Pörgetés után azonnal felnyitottuk a sablont, a 1-et, 1-et kiemeltünk, 1-1 pedig a sablonban maradt utóérlelés céljából. Az első sorozatban a BVM által alkalmazott keveréket, pörgetési programot használtuk. Az így készült próbatest jelentős szétosztályozódást szenvedett el. Ennek két fő oka volt. Egyrészt a keverék péptöbblete túlságosan magas volt, másrészt a tömörítési nyomás és időtartam is túlságosan sok volt. A következő próbában azonos keveréket felhasználva, de alacsonyabb tömörítési nyomást alkalmazva

végeztük a kísérletet. A friss próbatest szétbontásakor lényegesen kedvezőbb struktúrát kaptunk. A következő két pörgetési próbán egy új keveréket alkalmaztunk, amelynek alacsonyabb a péptartalma. Az előzőhöz hasonló programot hajtottunk végre. Ezúttal a friss próbatest szélső, középső és belső tartományából mintát véve szétmostuk a betont. A keverék szemszerkezete tömörítés előtt és tömörítés után a 2. ábrán látható. Az ábra módosított szemösszetételt tartalmaz. A 100% a bedolgozatlan betonkeverék teljes mennyisége cement és víztartalommal együtt. A diagramokon jól látható, hogy a belső tartomány finomrész tartalma lényegesen magasabb a nagyobb tömörítési intenzitás alkalmazásakor. A szétmosott minták esetében a legkisebb alkalmazott szita 0,125mm-es, ezért a diagramok ott véget érnek.



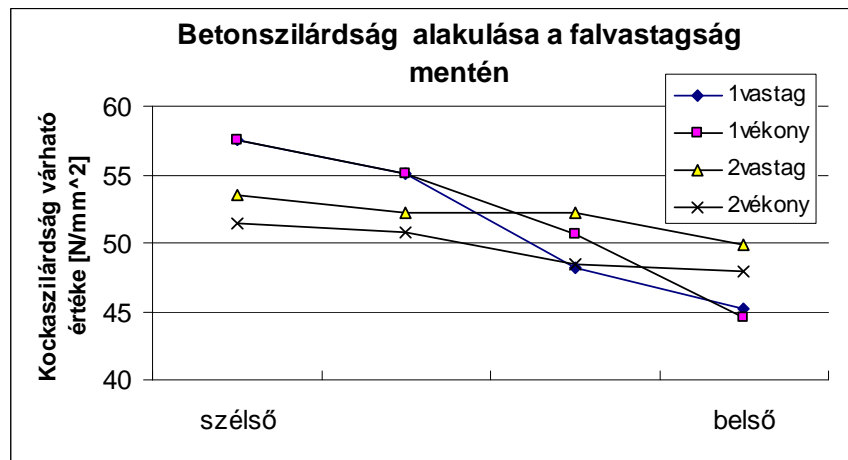
2. ábra A bedolgozott keverék szemösszetétele nagyobb és kisebb tömörítési energia esetén

A vizsgálatokhoz hozzá tartozik természetesen a vibrációs úton tömörített és a pörgetéssel előállított próbatestek szilárdságának meghatározása.

Az elkészült próbatesteket roncsolásmentes és roncsolásos módszerekkel vizsgáljuk. A roncsolásmentes (betonoszkópos és Schmidt kalapácsos) vizsgálatok célja a szilárdságfüggvény lefutásának meghatározása. A különböző átmérőkkel készített próbatestekből a középponttól különböző távolságra fúrt 60 mm átmérőjű magminták mérethatással terheltek, ezért az azonos keverékből készülő próbakockák egy részéből a pörgetett elemből vett hengerekkel azonos méretű magmintákat fúrunk. Így teremtjük meg a kapcsolatot a hengersizilárdság és a pörgetett elem szilárdsága között.

A 3. ábrán egy C40/50 szilárdsági osztályú, 460 kg cementadagolású, A jelű adalékvallyal és 0,30-es w/c tényezővel készülő betonkeverék Schmidt kalapácsos vizsgálatának eredményeit közöljük. A diagramon jól látható, hogy a nagyobb tömörítési energia jelentősebb szétosztályozódást, ezzel párhuzamosan pedig a falvastagság mentén tapasztalható jelentősebb szilárdságváltozást okoz. A diagramon a vastag jelölés az 50 cm átmérőjű, 16 cm falvastagságú elemet, a vékony az 50 cm átmérőjű, 12 cm falvastagságú elemet jelenti. A falvastagság változásával változik a próbatest falában mérhető tömörítési nyomás is. Ennek hatása is érzékelhető a mérési eredményeken. Megfelelően nagy

tömörítési energia alkalmazása esetén a beton szilárdsága nem függ érzékelhetően a falvastagságtól. Kis tömörítési energia esetén azonban nem érjük el a tökéletes tömörséget. Ekkor a nagyobb falvastagságból származó nagyobb nyomás magasabb szilárdságot eredményez.



3. ábra Pörgetett elem szilárdsága a falvastagság mentén a tömörítési energia függvényében

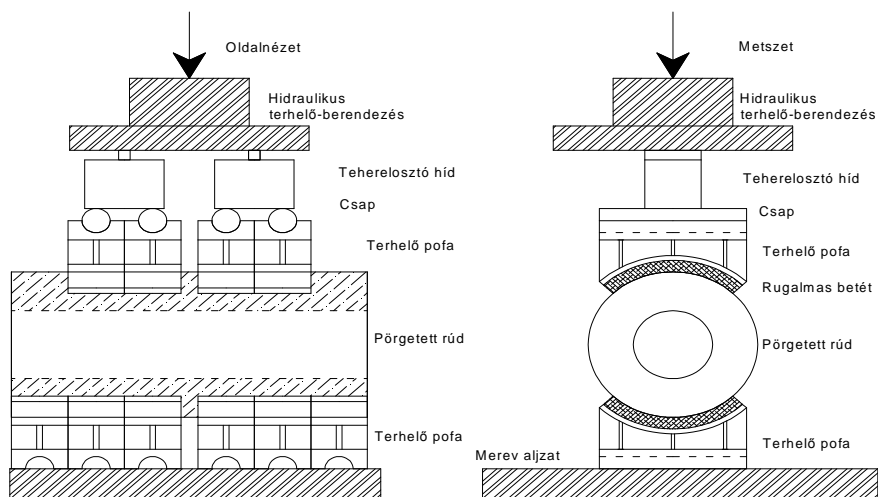
## 6. KÜLSŐ PEREME MENTÉN VASALT, KÖRGYŰRŰ KERESZTMETSZETŰ, VASBETON ELEMEK NYÍRÁSI-HAJLÍTÁSI ELLENÁLLÁSA

A szakirodalomban nem található a pörgetett vasbeton oszlopok nyírási ellenállásával kapcsolatos tanulmány, ezért a problémát a rokon, kör illetve körgyűrű keresztmetszet nyírási ellenállásából vezetjük le. A szabályzatok általában nem tárgyalják külön a kör, illetve körgyűrű keresztmetszetű tartók nyírási ellenállását. A jelölt témákkal azonban számos kutató foglalkozott. Így Capon és társai [2] illetve az ACI [3] a négyszög keresztmetszeteknél alkalmazottal azonos összefüggést javasoltak, a teljes keresztmetszetet definiálták nyírt keresztmetszetként és az átmérőt, illetve az átmérő 80%-át választották hasznos magasságnak. Ang [4] illetve Priestley [5] kutatócsoportjai összefüggést határoztak meg kör keresztmetszetű tartókra, az MSZ-EN-1992-ben is megjelenő rácsos tartó modell alkalmazásával, és levezették a nyírási ellenállásnak a hajlítónyomatéki alakváltozással való összefüggésére. Merta [6] disszertációjában részben új alapokra helyezte a nyírási ellenállás számítását. Figyelembe vette a kengyelben fellépő erő ferdeségét és a kengyelerő irányváltozásából származó deviátoros erőkomponens hatását. A körgyűrű keresztmetszetek számítását, a sorok között olvasva megtalálhatjuk a DIN 1045 [7] és az MSZ-EN1992 [8] szabványokban is. E szerint egy olyan téglalap alakú helyettesítő keresztmetszetet kell vizsgálni, amelynek a hasznos magassága a húzott oldali betonacélok súlypontjáig tart, a szélessége pedig a húzott oldalon mérhető minimális keresztmetszeti szélesség.

Körgyűrű keresztmetszetű vasbeton tartók nyírási viselkedésével kapcsolatos szakirodalmi kutatási eredmény Turmo és társai által végzett kétszer kettő darab nyírási kísérletre korlátozódik [9]. A kísérletben 60 cm átmérővel, 10 cm falvastagsággal, Ø6/300-as kengyelezéssel és 12 Ø20 hosszvasalással készült próbatesteket vizsgáltak két különböző szilárdságú betonkeverék felhasználásával. Összefüggést határoztak meg a kengyel által képviselt nyíróerő ellenállás számítására, de nem vizsgálták a beton nyíróerő ellenállását, illetve a nyírási ellenállás felső korlátját. Ugyancsak nyitott kérdés a normálerő hatásának meghatározása.

Kísérletsorozatunk célja a pörgetett vasbeton rudak nyírási-hajlítás ellenállásának részletes vizsgálata a teherbírást befolyásoló fő paraméterek változtatásával. A változtatandó paraméterek a falvastagság, a hosszvasalás és a kengyelezés mennyisége, a normálerő

nagysága, a betonszilárdság. A nyírási-hajlítási ellenállás vizsgálata hárompontos hajlítókísérletek segítségével folyik. A program keretében 20 próbatest törését végezzük el. A fent említett paramétereken kívül Turmo kísérletei alapján komoly hatással van a jelenségekre az erőbevezetés jellege. Ezért a nyírási-hajlítási kísérleteket gerincnyomási előkísérletek előzik meg. Ennek keretében 20db próbatesten vizsgáljuk, milyen hatással van a gerincnyomási ellenállásra a teherátadó pofa abszolút és relatív hossza, középponti szöge, a falvastagság, a hosszvas átmérője, és a kengyelosztás [10].



4. ábra Kísérleti elrendezés a gerincnyomási kísérlet elvégzésére

## ÖSSZEGZÉS

A pörgetett vasbeton oszlopok falvastagság menti szilárdságváltozására és a nyírási ellenállás változására mutattunk be kutatási programot, és szemelvényeket mutattunk a kutatás jelenlegi állásakor rendelkezésre álló eredményekből. A cikk terjedelme nem teszi lehetővé a kísérleti eredmények részletesebb bemutatását. Erre a konferencián előadandó prezentációban kerül sor.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Beluzsár, J. – Beluzsár, L. – Sziklai, Z.: Pörgetett Betonoszlopok Gyártása és Alkalmazása. [www.mabesz.org](http://www.mabesz.org)
- [3] ACI 318M-02 and Commentary ACI318RM-02 (2002). Building Code Requirements for Structural Concrete
- [4] Ang, B.G., Priestley, M.J.N., Paulay, T. (1989) Seismic Shear Strength of Circular Reinforced Concrete Columns. ACI Struct. Journal, ACI V. 86, Jan.-Feb., pp.45-59.
- [5] Priestley, M.J.N., Verma, R., Xiao, Y. (1994), Seismic Shear Strength of Circular Reinforced Concrete Columns. Journal of Struct. Engineering, ASCE, V. 120, No.8, Aug., pp.2310-2329.
- [6] Merta, I.: Shear Strength of Reinforced Concrete Circular cross section Members. Proceedings of the Fourth International Conference on Concrete under Severe Conditions. Seoul National University, Korea Concrete Institute (2004) pp. 1025-1032
- [7] DIN 1045-1
- [8] MSZ-EN1992-1-1-2004
- [9] Turmo, J. – Ramos, G. – Aparicio, A.C.: Shear truss analogy for concrete members of solid and hollow circular cross section. Engineering Structures (2008) 10.1016
- [10] Völgyi, I. – Dr. Farkas, Gy.: Pörgetett vasbeton oszlopok magasépítési alkalmazásának erőtani kérdései, A BME Építőmérnöki Kar Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos közleményei 2009.