

# VÁZPILLÉREK MEGERŐSTÉSE VASBETON KÖPENYEZÉSSEL

*Bódi István\* - Madaras Botond\*\**

## RÖVID KIVONAT

A Budapest belvárosában épült műemlék banképület teljes rekonstrukciója során lehetőség nyílt a vasbeton köpenyezéssel erősített acél vázpillérek erőtani vizsgálatára. A méréssorozattal az építés folyamatát végigkövettük, vizsgálva a köpenyezés hatékonyságát, ill. a köpeny zsugorodásának hatását is.

## 1. BEVEZETÉS

Az épületrekonstrukciók, átépítések során a teherhordó falak, pillérek szükséges fokú megerősítése leggyakrabban utólagos köpenyezéssel oldható meg. A Budapest belvárosában, mintegy 70 éve épült műemlék épület közelmúltban végzett teljes felújítása során lehetőség nyílt a lecsupaszított acél vázszerkezet köpenyezésének erőtani vizsgálatára, követve az építés folyamatát.

A Szabadság tér déli oldalán álló, 12 szintes - műemlék - banképület teljes körű rekonstrukciója a közelmúltban kezdődött meg. A '90-es évek utolsó harmadára az akkor már üzemen kívüli épület műszaki állapota erősen leromlott, ezért az épület új tulajdonosa a teljes felújítás és a funkcionálisan indokolt részleges átépítés mellett döntött.

A felújítás szerkezeti különlegességét elsősorban az adta, hogy a Kulturális Örökségvédelmi Hivatal (KÖH), csak a merevbetétes acél vázszerkezet bauxitbeton részeit engedte elbontani, ugyanakkor kötelezte a beruházót a - műemléknek nyilvánított – acél váz megtartására.

A bemutatott helyzet megteremtette a lehetőséget az utólagosan köpenyezéssel megerősített vázszerkezet oszlopainak helyszíni vizsgálatára, mellyel nyomon követhető az oszlopok erőtani viselkedése a szintenkénti markáns teherlépcsők ismeretében.

## 2. VIZSGÁLATI CÉLOK

A bemutatott helyzet megteremtette a lehetőséget az utólagosan köpenyezéssel megerősített vázszerkezet oszlopainak helyszíni vizsgálatára, mellyel nyomon követhető az oszlopok erőtani viselkedése a szintenkénti markáns teherlépcsők ismeretében. Az építés folyamatát végigkísérő vizsgálat alapvető céljait az alábbi főbb pontokban határoztuk meg:

---

\* okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

\*\* okl. építőmérnök, Terraplan Kft.

- Merev acélbetétek alakváltozás vizsgálata, követve az építés folyamatát
- Köpenyezés hatékonyságának vizsgálata
- Eredeti oszlopkeresztmetszet és az új köpenyezés együttdolgozásának ellenőrzése
- Vizsgálati módszer elemzése, az alkalmazás lehetőségeinek és korlátainak meghatározása

A vizsgálat szempontjából kiemelt fontosságú az a tény, hogy az épület szerkezeti váza jól áttekinthető, lehetővé téve az igénybevételek szükséges pontosságú meghatározását.

### 3. AZ ÉPÜLET RÖVID BEMUTATÁSA

A banképület az 1930-as évek végén épült, - akkor - modern szerkezeti kialakítással. A két pinceszint, alagsor és a földszint fölött 8 emeletet alakítottak ki, a felső szinteket visszalépcsőzve. Az alaprajzilag „U” alakú épület terepszint alatti szerkezeti elemei az építéskori előírások figyelembevételével portlandcement adagolással épültek, az első emelettől felfelé bauxitbetont használtak. A tervezett átalakítás jelentősen érinti az alsóbb szinteket is, ezek részletes bemutatásával jelen cikk nem foglalkozik (az alsóbb szinteken végzett átalakítások a felszerkezet pilléreinek erőjátékát érdemben nem befolyásolják).

A meglévő eredeti tervlapok átgondolt, praktikus szerkezetről tanúskodnak. Az acél váz pilléreit melegen hengerelt szelvényekből alakították ki, szegecselt kapcsolatokkal. A földem főtartói változó keresztmetszeti tényezőjű I240 szelvények (helyenként övlemezzel erősítve), a fiók – és permtartók kisebb, I120, ill. I180 szelvények.

Az épület tartószerkezeti rendszere viszonylag könnyen áttekinthető, szabályos raszterű, ennek a vizsgálat szempontjából is kiemelt szerepe van, ugyanis a vizsgált oszlopok terhelése pontosan (és egyszerűen) számítható, mind numerikus, mind analitikus módszerekkel (az épület általános szinti alaprajzi kialakítását mutatja be az 1. ábra).

A tervezés fázisában folytatott előzetes vizsgálatok a felszerkezet bauxitbeton elemeinek igen rossz állapotát mutatták: a gyenge, fészkes betonkéregben a betonacélok erőteljes korróziója megindult, az eredeti állapotban történő rekonstrukció nem volt lehetséges.

A szerkezet műemlék jellege miatt a rehabilitációt csak a vázszerkezet megtartásával engedélyezték, oly módon, hogy a pillérek keresztmetszeti méretét nem lehetett növelni. A tervezett rekonstrukció a teljes felszerkezeten a bauxitbeton eltávolítását igényelte, azaz a földemmezők mellett bontani kellett a pillérek, gerendák betonját, valamint a vasbeton falakat egyaránt. Az átalakítás természetesen a szerkezet merevítése nélkül nem volt lehetséges, így a bontás megkezdése előtt méretezett rácsos acél ”merevítő tornyok” készültek a szerkezeti raszterhez igazodóan. A merevítés elkészültét követően megkezdődött a bontás, amit 2003 őszén befejeztek. Az épület bontást követő állapotát mutatja az 1. kép.



1. kép Az acél vázszerkezet képe

A beton részek eltávolítását követő építési munka során a meglévő vázszerkezet monolit vasbeton köpenyezést kapott, a födécek vasbeton lemezként készültek. Tűzvédelmi és hanggátlási okok miatt az eredetileg 10 – 12 cm vastag lemezek helyett 20 cm vastag mezők készültek, jelentősen megnövelve ezzel a szerkezet össztömegét. A rászterpontokba bekötő acél vázgerendák – az eredeti szerkezettel analóg módon – merevbetétes főtartóként kialakítottak.

## 4. VÁZPILLÉREK VIZSGÁLATA

### 4.1. Mérési módszer ismertetése, alapfeltevések

A vizsgálati cél kitűzését követően kiemelt fontosságú volt a vizsgálati módszer helyes megválasztása. A köpenyezés hatékonyságának vizsgálata elméletben ugyan több módszerrel is lehetséges, ezek logikailag a két alábbi csoportba sorolhatók:

1. Közvetlen mérés a köpenyen
2. Közvetett mérés a megerősített szerkezeten

A közvetlen mérés - ami a legkézenfekvőbbnek tűnik – bizonyos esetekben egyértelműen célravezetőbb megoldásnak mutatkozik. Acélszerkezetű köpenyezés esetén a mérés közvetlenül a köpenyen végezhető, ez által a feszültségek (alakváltozások) viszonylag pontosan követhetők. Vasbeton köpenyezés esetén a feladat bonyolultabbá válik. Eben az esetben is lehetőség van a közvetlen mérésre, azonban a betonszerkezeteken elvégzett nyúlásmérésből a feszültségre közvetlenül következtetni nem lehet (a beton rugalmassági modulusa nem ismert, ill. időben változik, a meghatározása nehézkes - és főképp pontatlan), valamint a mérés bázispontjait is csak a

zsalu eltávolítását követően lehet megkezdeni (nyúlásmérő bélyeget, induktív adót, stb. sem lehet elhelyezni betonozás előtt).

A vázolt nehézségek miatt a vizsgálatokat a közvetett módszerrel végeztük. Ennek lényegi lépései az alábbiak:

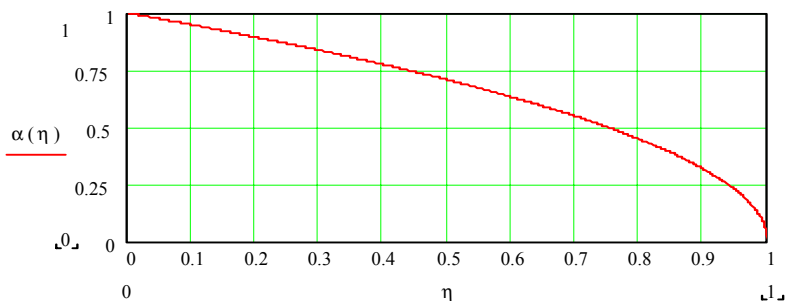
- A betonozás (vasszerelés) megkezdése előtt 100 mm bázistávolsággal a merevbetétbe sajtolt acélgolyó végpontokat helyeztünk el a pillérekben, melyeken az alakváltozás Pfender típusú mechanikus mérőórával (mérési pontosság:  $10^{-3}$  mm) követhető.
- A mérési pontokon a köpenyezésen kisméretű kirekesztést készítettünk, a mérések akadálytalan elvégzéséhez. A kirekesztések mérete a teljes keresztmetszethez viszonyítva nem jelentős, várhatóan jelentős pontatlanságot nem eredményez.
- A bázispontokon az építést követve – teherlépcsőnként – meghatározható a merevbetét alakváltozása.

A mérési módszer előnyeként említhető, hogy a merevbetét alakváltozásának ismeretében a feszültségek (és így az erők) pontosan számíthatók. A pilléren a normálerő teljes értéke – a már említett egyszerű raszter miatt – szintén kis hibával számítható, ezen adatok ismeretében a köpenyezésben fellépő normálerő ismert.

A vizsgálatok a szerkezet - megerősítés speciális esetét tükrözték; azt a ritkán előforduló megoldást, amikor a megerősítendő elem gyakorlatilag teljes mértékben tehermentesíthető, valamint biztosított a köpenyezés közvetlen terhelése és a szelvények – feltételezhető – együttdolgozása.

A megerősítendő pillér kihasználtságának igen komoly szerepe van a megerősítés hatékonyságában. Általánosságban elfogadható, hogy törési határállapotban lévő szerkezetet erősíteni érdemben nem lehet, ebben az esetben inkább kiváltásról (függetlenül teherviselő szerkezet létrehozásáról) kell gondoskodni. Mivel a kihasználtság hatása elemi módszerekkel nehezen vehető figyelembe, munkahipotézisként elfogadtuk Dulácska közelítését, amely szerint a vasbeton köpeny és a hosszvasalás hatását csökkentő tényezővel ( $\alpha$ ) vehetjük figyelembe, ezt a tényezőt (az eredeti állapotú) pillér kihasználtsági fokának ( $\eta$ ) függvényében adhatjuk meg.

A csökkentő tényező értéke:  $\alpha = \sqrt{1 - \eta}$ , ahol:  $\eta = \frac{N_{sd,0}}{N_{Rd,0}}$



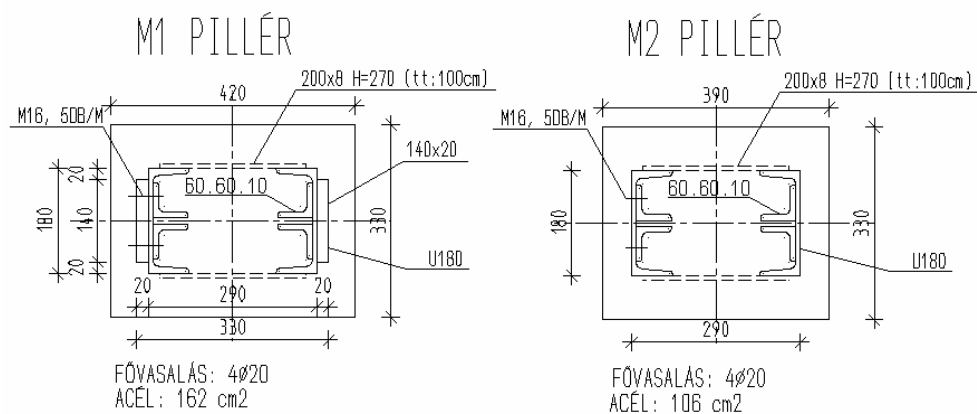
1. ábra Az  $\alpha$  csökkentő tényező

A diagram szerint jelen megerősítés vizsgálatakor éltünk az  $\alpha \approx 1,0$  feltételezéssel (a megerősítés hatásfoka ekkor maximális).

#### 4.2. Mérési pontok kiválasztása

A mérési helyek kiválasztásakor fő szempont volt, hogy a terhelő mező – és így a terhelés – pontosan számítható legyen, ezért a merevítő tornyok és leendő falak közvetlen környezetét el kellett kerülni. A földszinti kiváltógerendára terhelő oszlopok erőjátéka szintén bizonytalan (fölöttük is készül kiváltás az új szerkezetben), ezért az itt végzett mérések, csak a feltételezett számítási modell kontrollálására használhatók.

A köpenyezés, valamint az acélszelvény együttműködését olyan oszlopokon vizsgáltuk, amelyek közvetlenül futnak le a földszintig. A vizsgált pillérekon több mérési pontot alakítottunk ki, egyrészt az esetlegesen megsemmisülő mérési pontok miatt, másrészt az egyes mérések kontrollálására. A mérési helyek oszlopközépen voltak, aminek a praktikus (kényelmi) okokon túlmutatóan az az oka, hogy szelvényeken várható nyomatéki nullpont eben a magasságban van, így ennek a hatása leginkább itt küszöbölhető ki (a hajlítónyomatékok követése túl sok bizonytalanságot okozna a számítás során). A szerkezet kezdeti "nullmérését" a szelvények betonozását megelőzően végeztük, ezt követően az elkészült vasalásban kirekesztést (hőszigetelő hab ablak) készítettünk.



2. ábra Oszlopkeresztmetszetek kialakítása a mérési pontokkal



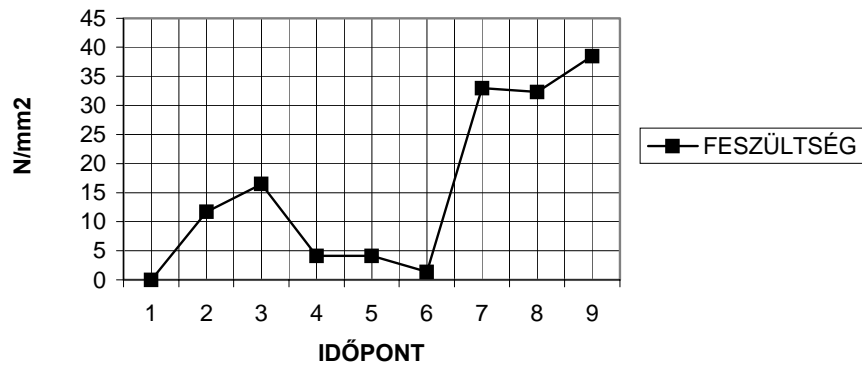
2. és 3. kép Mérési pont a pilléren, betonozás előtt, majd azt követően

Ezzel az eljárással a beton zsugorodásának a hatása is figyelembe vehető közvetlenül a betonozástól kezdődően (ezen a szinten az oszlopok tervezett szilárdsági osztálya C30, a bedolgozhatóság miatt egységesen öntömörödő betonnal készülnek). A pilléren kialakított mérési helyeket mutatja a 2. ábra, valamint az 1. és 2. kép.

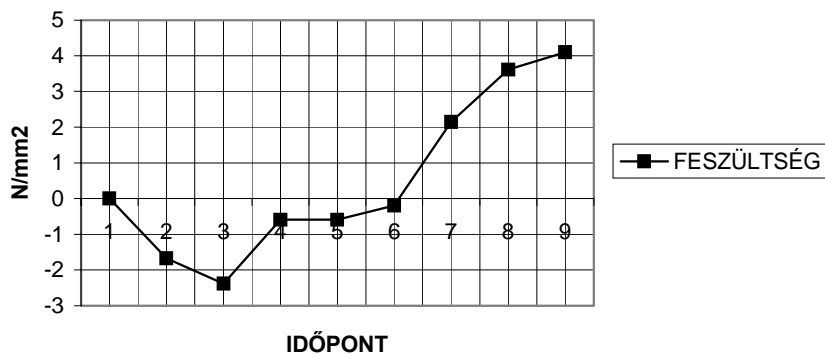
#### 4.3. Mérési adatok

Az építés során az elhelyezett mérési pontokon folyamatosan végeztük a nyúlásmérést. A leolvasott értékeket a mindenkori hőmérséklettel javítottuk. Az első emeleti pilléreken a földem betonozását követően csak a 4. emelet fölötti földem elkészültét követően lehetett méréseket végezni, ugyanis az addig bentartott dúcolat a mérési eredményeket komolyan befolyásolta volna. A bemutatott táblázat 1 – 6 mérési időpontjaiban a pillér terheletlen volt, ekkor a beton zsugorodásának hatását vizsgáltuk, míg a 7 – 9 időpontokban a már terhelt szerkezet alakváltozásait lehetett ellenőrizni. A mérési pontok elhelyezése és az utolsó elvégzett mérések között mintegy 6 hónap telt el. Ezt követően a szerkezetkész épületben megkezdődött a feltöltések, burkolati rétegek, valamint kitöltő falazatok készítése, ami a terhek követését gyakorlatilag lehetetlenné tette, ugyanakkor eddig az időpontig megvolt a lehetőség a pontosabb elemzésre.

### FESZÜLTÉG AZ ACÉLBETÉTBEN (MÉRT, M1 PONT)



### FESZÜLTÉG A BETONBAN (SZÁM., M1 PONT)



3. és 4. ábra Feszültségek az M1 mérési helyen (acélbetét, beton).

A mérési adatok alapján a vizsgált helyen a szelvények alkotóelemeiben a feszültséget diagramos formában megadtuk. A merevbetétben (és betonacélban) a feszültség közvetlenül a mért alakváltozásból számítható, a beton köpenyben a feszültséget az alábbi módon lehet meghatározni: a pillér számított terheléséből levonva az acélbetétekben ébredő erőt, a feszültség közvetlenül számítható (a keresztmetszeti adatok ismeretében).

## 5. MÉRÉSI ADATOK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA, ÉRTÉKELÉS

A mérési eredményekből képzett diagrammok vizsgálata alapján a köpenyezés erőtanai viselkedésének karakterisztikájáról az alábbi fő megállapítások tehetők:

1. A betonozást követő időpontban, terheletlen pillér esetén a beton zsugorodásának hatására a merevbetétben nyomófeszültség ébred. Ennek nagysága a vizsgált pillérek esetében  $2 - 15 \text{ N/mm}^2$  nagyságrendű, ingadozását feltételezhetően a mérési pontatlanság is befolyásolja.
2. A betonozást követő 3. napon bekövetkező markáns változás arra utal, hogy:
  - a.) A szerkezetben a zsugorodási feszültségek hatására repedések képződhetnek, „lépítve” a feszültséget.

b.) Az acélbetét és a köpeny között fellépő kapcsolati feszültségek miatt kismértékű relatív elmozdulás következik be, ekkor a feszültségcsökkenést a „megcsúszás” okozza (különösen igaz lehet ez az összetett, ugyanakkor mégis „sima” felületű merevbetéten).

Természetszerűleg a két hatás együttes bekövetkezése is előfordulhat.

3. A teherlépcsők felhordását követően mind a köpenyezésben, mind a merevbetétben jól követhető a feszültségek növekedése. Egyes teherlépcsők felhordása után – mechanikailag nehezen magyarázhatóan – a mért deformáció csökkent, ezt a mérés pontatlanságaként kell elkönyvelni.

A mintegy féléves vizsgálati időszakban az épületben elvégzett mérések a tervezett köpenyezés viselkedésének vizsgálatára lehetőséget adtak. Az alkalmazott mérési módszer – a kisebb pontatlanságok mellett is – a vizsgálat szempontjából megfelelőnek bizonyult, a főbb tendenciák követhetőek voltak.

Gyakorlati (tervezési) szempontból kiemelt fontosságú, hogy a - jobb híján – feltételezett együttműködés a köpeny és a szelvény között közel teljesnek mondható. A korábbi kétségek fő oka az volt, hogy komoly betontechnológiai nehézséget jelenthet egy meglehetősen összetett, osztott szelvényű merevbetétes, mindemellett kis keresztmetszetű pillér kibetonozása, azonban az alkalmazott öntömörödő beton megfelelő tulajdonságokat mutatott. (A megfelelő tömörség a vizsgálatokhoz kialakított kirekesztéseknél is megfigyelhető volt.)

Kiemelt fontosságú az a tény, hogy a mért adatokból képzett feszültségek jó közelítéssel azonosak egy együttműködő, merev acélbetétes pillérével (az eltérés a 15%-ot nem haladja meg!), azaz a köpenyezés erőjátéka az elemi szilárdságtani megfontolások alapján számítottakhoz hasonlóan modellezhető, amennyiben a megerősítendő szerkezet teljes feszültség-mentesítése biztosítható a köpenyezés megkezdése előtt. Ez természetesen csak abban az esetben teljesülhet, amennyiben az együttműködés megvalósul és a köpeny is közvetlenül terhelt.

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Dulácska E.: *Téglából falazott szerkezetek statikai vizsgálata és megerősítése*. A Mérnöki Kamara kiskönyvtára Tartószerkezeti Tagozat, Tervezési Segédlet Sorozat TT – TS1 (1998)
- [2] Kerkeni, N. - Hegger, J.: Bemessung von spritzbetonverstärkten Stahlbetonstützen unter beliebiger Belastung. *Beton - und Stahlbetonbau* 96, 2001/11. 708 – 715 old.
- [3] Eibl, J. - Bachmann, H.: Nachträgliche Verstärkung von Stahlbetonbauteilen mit Spritzbeton. *Beton – und Stahlbetonbau* 85, 1990/1. 1 – 4 old. és 1990/2 39 – 44 old.
- [4] MI 15011 – 88 *Épületek megépült teherhordó szerkezeteinek erőtani vizsgálata* – Műszaki Irányelv