

## MEREVSÉG VAGY CSILLAPÍTÁS SZEIZMIKUS VÁLASZNÁL

### STIFFNESS VERSUS DAMPING IN SEISMIC RESPONSE

Máthé Alíz Éva

*Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék,  
Cím: 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicoviciu u., 15; Telefon: +40-264-401363,  
[aliz.mathe@mecon.utcluj.ro](mailto:aliz.mathe@mecon.utcluj.ro)*

#### Abstract

The subject of the paper is to present the effects of added damping and of increased lateral stiffness on the seismic response of multi-story steel structures. Lateral stiffness (and its increase) is still a traditional way to adjust multi-story structures to the design provisions concerning their kinematic state – lateral absolute and relative story level displacements. The increase of lateral stiffness via cross sections of structural elements, or by equipping the structures with bracings results not only in a reduction of lateral story displacements, but, also in an increase of the seismic base shear force. The discussion is, therefore, a comparative study of seismic responses of multi-story steel structures retrofitted either with increased lateral stiffness, or with added viscous dampers.

*Keywords: seismic response, structural rigidity, passive damping, steel structure*

#### Összefoglalás

A dolgozat célja hogy párhuzamosan bemutassa az oldalirányú merevítés és a hozzáadott csillapítás hatását a többemeletes acélszerkezetek szeizmikus válaszában. Az oldalirányú merevítés (és ennek a fokozása) egy klasszikus módszer arra, hogy a többszintes szerkezetek megfeleljenek a szeizmikus zónákban található kinematikus használhatósági határállapokra vonatkozó törvényes rendelkezéseknek. Az oldalirányú merevség fokozása (a szerkezeti elemek keresztmetszetének a növelésével, vagy az átlós merevítők használatával) nemcsak a szint oldalirányú elmozdulásának a csökkentéséhez vezet, hanem a szeizmikus alap-nyíróerő növekedéséhez is. A dolgozat lényegében az oldalirányú merevítéssel kiegészített, valamint a viszkózus lengéscsillapítókkal felszerelt szerkezetek szeizmikus választ összehasonlító tanulmány.

*Kulcsszavak: szeizmikus válasz, szerkezeti merevség, passzív csillapítás, acélszerkezet*

#### 1. Bevezetés

A szeizmikus zónákban található többszintes építmények tervezésének gyakorlatában, a tartószerkezet mechanikai szilárdsága és stabilitása szempontjából két fő tendencia nyilvánul meg. Az első tendencia az erők átvételére alkalmas keresztmetszetek alkalmazására, főleg a tervezésre vonatkozó előírások [1], [2] által meghatá-

rozott elmozdulási határértékeknek a betartására irányul. Valóban, az oszlopok nagy keresztmetszete által biztosított oldalirányú merevség közvetlenül és biztosan hozzájárul a szeizmikus hatások következtében keletkező oldalirányú elmozdulás csökkentéséhez. A második tendencia a szerkezeteknek a szeizmikus hatások elleni biztonsági berendezésekkel való ellátására irányul. A leggyakoribb szeizmikus védelmi technoló-

gia az úgynevezett „passzív szeizmikus védelem” [3], [4], [5], ami hozzáadott viszkózus csillapításból és/vagy hozzáadott tömegeből áll [6], [7], [8].

A merevítés/csillapítás eredménye a tervezett szerkezet szeizmikus válaszában nyilvánul meg, de ugyanakkor függ a hely szeizmikus sajátosságaitól, a szerkezet szintjeinek a számától, valamint a kívánt teljesítménytől is. A szeizmikus válasz értékelése magába foglalja a mechanikus (statikus és kinematikus) paramétereket és, néha, az energetikai paramétereket is [9], [10]. Hagyományos módon, a merevítés és a csillapítás összehasonlítását az alábbi két fontos paraméter változásaival fejezik ki:

- az utolsó szint oldalirányú (abszolút) elmozdulásai, illetve
- a szeizmikus alap-nyíróerő mérete.

Ebből a megközelítésből vizsgálva, e tanulmány célja az, hogy összehasonlítsa a megnövelt oldalirányú merevítés valamint a hozzáadott csillapítás hatását, a fentemlített két paraméter segítségével.

Ez a két paraméter (egy kinematikus és egy statikus) került kiválasztásra, mivel a hely szeizmicitásának megfelelő mechanikai állapotot, az oldalirányú merevítés növelésével biztosító klasszikus tendencia ellentmondásos eredményekhez vezet a szerkezet mechanikai állapota szempontjából. Az oldalirányú merevség növelése nagyobb rezgési periódusokhoz és ennek következtében az alpra ható nagyobb szeizmikus erőket eredményez. Ugyanakkor, a megnövelt oldalirányú merevség csökkenti az oldalirányú elmozdulást. A szerkezet szeizmikus megfelelőségének ez a klasszikus módja, a kitűzött célnak nem megfelelő szerkezetek tervezéséhez vezet. A többszintes acélszerkezetek szeizmikus elemzéséből nyert eredmények jól szemléltetik a megnövelt oldalirányú merevítés és a hozzáadott csillapítás hatásait.

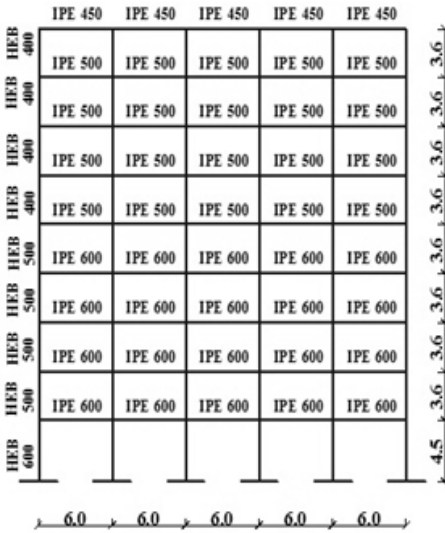
## 2. Metodológia

A kitűzött cél néhány többszintes, síkvázasként modellezett acélszerkezet szeizmikus vizsgálata révén valósul meg. Az időtörténeti (time-history) vizsgálat a szerkezet lineáris-rugalmasságát elemzi. Az analitikus modell a hagyományos, MDOF (többszabadságfokú) rendszer, az emeletek szintjéhez koncentrált tömegekkel és a szintek oldalirányú elmozdulásaival mint szabadsági fokozatokkal. Az oldalirányú merevség három állapottal társított: a referencia szerkezettel (**1. ábra**), négy megnövelt oldalirányú merevségi esettel (három esetben *Str. A+*, *Str. B+* illetve *Str. C+* elnevezésű, megnövelt keresztmetszetű oszlopok és gerendák), majd egy esetben a szerkezet merevítőkkal való felszerelésével (**2. ábra**).

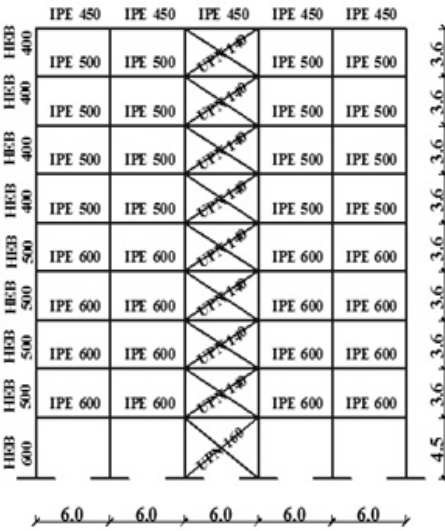
A számszerű eredmények az 1990-es Vrancea megyei földrengés (**3. ábra**) szeizmogrammjával lettek megállapítva. A csillapítási állapot, a csillapítási faktor által kifejezett három helyzetre vonatkozik: 5% a referenciaszerkezetre, és három a hozzáadott lineáris-viszkózus csillapításra (10%, 15%, illetve 20%).

A szeizmikus válasz értékeinek a bemutatása fokozottan, a szerkezet oldalirányú merevségének a függvényében történik, ami a merevségi/csillapítási állapottal társított merevségi mátrix determinánsának az értékével (**4. ábra**) van kifejezve. A kiszámított paraméterek a felső szint oldalirányú elmozdulásai (**5. ábra**), az alsóbb szintek relatív elmozdulásai (**6. ábra**). Ezen kívül bemutatásra kerülnek a felső szint oldalirányú elmozdulásai a szeizmikus alapnyíróerővel szemben (**7. ábra**). A számszerű eredmények összehasonlító módon vannak bemutatva.

### 3. Számszerű eredmények

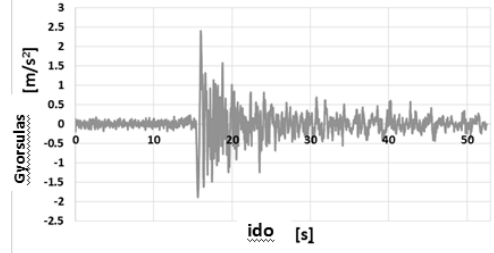


1. ábra. Referenciaszerkezet.

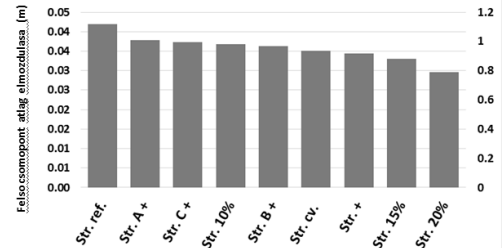


2. ábra. Oldalirányban merevített szerkezet.

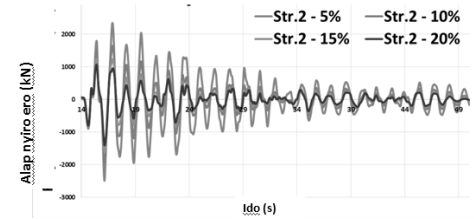
Az oldalirányú merevítésnek valamint a hozzáadott csillapításnak a szeizmikus válaszra való hatásainak minél egyszerűbb szemléltetése érdekében a számszerű eredmények grafikusan kerülnek bemutatásra.



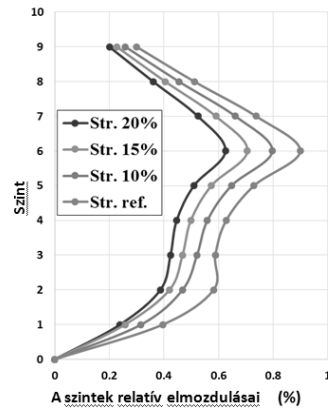
3. ábra. Vrancea 1990 szeizmogramm.



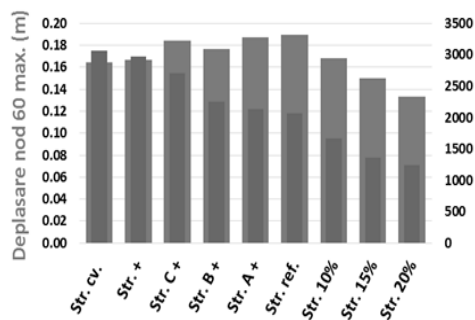
4. ábra. Az oldalirányú merevség fokozatai.



5. ábra. Az utolsó szint oldalirányú abszolút elmozdulása.



6. ábra. A szintek relatív elmozdulásai.



7. ábra. A szeizmikus alap-nyíróerő és az utolsó szint oldalirányú elmozdulásának az összehasonlítása.

#### 4. Következtetések

A várakozásnak megfelelően, az oldalirányú merevség fokozása „nem oldja meg” a szerkezet megfelelővé tételét szeizmikus szempontból. A szintek oldalirányú elmozdulásáról (amit a jelenlegi tervezés esetében kötelező korlátozni) megállapítható, hogy ténylegesen a legnagyobb értékeket a referenciaszerkezet esetén kapjuk, míg a legalacsonyabb értékeket egy magas szintű (20%) hozzáadott csillapítással felszerelt szerkezet esetén (7. ábra).

A merevítőkkal ellátott szerkezet „egyenértékű” egy, viszonylag elfogadható szintű, kb. 10%-os, könnyedén elérhető csillapítással. A szeizmikus alap-nyíróerő változásai éppenséggel még „kifejezőbbek”. Az oldalirányú merevítés, a szeizmikus válasz e paraméterének nagy értékével társított (tehát az ekvivalens vízszintes statikus erők nagy értékével). A hozzáadott csillapítás jelentősen csökkenti, úgy a szeizmikus alap-nyíróerő értékét, mint az oldalirányú elmozdulás értékeit. A fentiek ismeretében elmondható, hogy a szerkezetek hatékony szeizmikus viselkedése a hozzáadott csillapítással érhető inkább el.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] SR EN 1993-1-1-2006, (Eurocod 3), *Proiectarea structurilor de oțel*. ASRO, 2006.
- [2] P100-1/2013: *Cod de proiectare seismică - Prevederi de proiectare pentru clădiri*. Ministerul Transporturilor Construcțiilor și Turismului, Bukarest, România, 2013.
- [3] FEMA 273, *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., 1997.
- [4] Soong, T. T.; Spencer, B. F. jr: *Supplemental Energy Dissipation: State-of-the-art and state-of-the-practice*, Engineering Structures 24, 2002, p. 243-259.
- [5] Prodan, O.; Ladar, I.; Alexa, P.: *Seismic Performances of Steel Structures with Supplemental Damping*. Numerical Studies. Ohrid, Macedonia, 2010, p. 836-844.
- [6] Suci, D.; Popescu, A.: *Numerical simulations of seismic response via added mass*, Proceedings of The 3rd Conference of Young Researchers from TUCEB, Bucharest, Romania, 2012, p.379-384.
- [7] Farghaly, A. A.: *Optimum design of TMD system for tall buildings*, Int. J. Optim. Civ. Eng., vol.2, no.4, 2012, p.511-532.
- [8] Kelly, T.: *Improving Seismic Performance: Add Stiffness or Damping?* Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Palmerston North, New Zealand, 2008, p.24-30.
- [9] Uang, C. M.; Bertero, V. V.: *Evaluation of seismic energy in structures*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 19, 1990, p. 77-90.
- [10] Alexa, P.; Mathe, A.: *Energy state of multi-story structures equipped with passive protection*. The International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, Timisoara, Romania, 2016, p.851-858.