

## A SZERKEZETEK FÖLDRENGÉS ESETÉN VALÓ VISELKE- DÉSÉNEK ELLENŐRZÉSÉT CÉLZÓ MODERN KONCEPCIÓK

## MODERN CONCEPTS FOR CHECKING THE BEHAVIOUR OF STRUCTURES IN CASE OF EARTHQUAKE

Máthé Alíz Éva

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék,  
Cím: 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicovicu u., 15; Telefon: +40-264-401363,  
aliz.mathe@mecon.utcluj.ro

### Abstract

The present paper is emphasizing the role and the importance of control of the seismic behaviour of structures. Rapid development of industrial equipment for seismic control of structures has to substitute the structural ductility as a source of seismic energy dissipation. While seismically the post elastic behaviour is, indeed, an efficient mean of seismic energy dissipation, it still involves post – seism rehabilitation. With industrial equipment installed into the structure, the permanent plastic deformations are transferred from structural members to the equipment itself. The study consists of a review of such equipment and its description from the point of view of its belonging to the three classes of seismic control (passive, active and semi-active).

*Keywords: earthquake, structure behaviour, concept, seismic protection.*

### Összefoglalás

A dolgozat kiemeli a szerkezetek szeizmikus válasza ellenőrzésének a szerepét és fontosságát. A szeizmikus energia disszipálását szolgáló duktilitást a szeizmikus viselkedést ellenőrző berendezések és technológiák gyors fejlődése kell helyettesítse. Annak ellenére, hogy a képlékeny deformációk segítségével lehetőség nyílik a szeizmikus válasz hatékony csökkentésére, ez a módszer az érintett szerkezet földrengés utáni rehabilitációját feltételezi. A szerkezetbe szerelt, a szeizmikus viselkedést ellenőrző berendezések lehetővé teszik, hogy a berendezés alkotóelemei átvegyék a képlékeny deformációkat a szerkezet elemeiről. A tanulmány lényege a szeizmikus választ csökkentő felszerelések bemutatása az illető technológia valamelyik szeizmikus (passzív, aktív ill. félig aktív) ellenőrzési osztályba való tartozása szerint.

*Kulcsszavak: földrengés, szerkezeti viselkedés, koncepció, szeizmikus szigetelők.*

### 1. Bevezetés

A szerkezettervező építőmérnökök egyik fő feladata a földrengésbiztos szerkezetek tervezése.

Egy szerkezet akkor tekinthető „földrengésbiztosnak”, ha a *tervezési földrengés* bekövetkezte után elfogadható mértékű

alakváltozás mellett átveszi a szeizmikus hatásokat és megőrzi fő funkcióit (megőrzi szerkezeti ellenállását, meggátolja a veszélyes deformálódásokat, biztosítja az épület funkcióinak folyamatosságát, stb.). A szerkezettervező építészmérnökök ilyen jellegű törekvése mindig is létezett (ezt híven bizonyítják a jelenleg is létező ókori és kö-

zép-kori építmények) de csak körülbelül 80 éve jelentkeztek az első analitikus és szabványosított jellegű törekvések. Hosszú időn keresztül az antiszeizmikus védelem az építmények strukturális elemeinek a megfelelő méretezéséből (gyakori esetben túlméretezéséből) állt, azonban, a közelmúltban történt földrengések során bebizonyosodott, hogy az épületeknek a tartóelemek túlméretezésével történő „szeizmikus védelme” nemcsak gazdaságtalan, de hatástalan is. Az utóbbi 30 évben a szerkezeteknek a földrengés elleni védelme során egyre nagyobb szerepet kapott a *duktilitás* elve. Ha a metszeti paratméterek (mint pl. a határnyomaték, stb.) biztosítják a szerkezet megfelelő szilárdságát, akkor a duktilitás az, ami biztosítja, hogy a szerkezet kibírjon egy földrengést. A duktilitás egyrészt a különböző szinteken (a keresztmetszetek, a csomópontok, a szerkezet szintjén) nyilvánul meg, másrészt a szerkezet azon tulajdonságában, hogy meg-enged bizonyos remanens deformációkat, amelyek elnyelik az építményre ható szeizmikus aktivitás okozta energiát. Ahogy az épületek esetén beszélhetünk szükséges és effektív ellenállásról, ugyanúgy beszélhetünk *szükséges* és *effektív duktilitásról*. A jelenlegi antiszeizmikus tervezési elvek kiemelt fontosságot szentelnek bizonyos tervezési (a keresztmetszetek méretezésére vonatkozó) szabályoknak annak érdekében, hogy a remanens deformációk (legtöbbször rugalmas csuklók) csakis bizonyos helyeken jelentkezzenek. E képlékeny csuklók biztosítják a szerkezetnek azt a képességét, hogy elnyelje a kinetikus energiát, de ugyanakkor, ezek a szerkezet rongálódó (esetleg összeomló) elemei.

A képlékenység céljából „feláldozott” szerkezeti elemeknek a földrengés utáni helyrehozatala jelenti az ilyen típusú antiszeizmikus védekezés fő hátrányát és ez volt az a fő tényező, ami a földrengés elleni alternatív védekezési módok megjelenéséhez vezetett.

Ezek az alternatív megoldások három osztályba sorolhatók:

- a szerkezet csillapító képességének a növelése bizonyos, a szerkezetbe beépített berendezések segítségével (csillapító elemek),
- a földrengés elmúltával kicserélhető energiaelnyelő képlékeny elemek (szeizmikus szigetelők) alkalmazása
- a szerkezeteknek különös kapcsolóelemekkel (csillapító és képlékeny tulajdonságokkal egyaránt rendelkező) csatolt súlyokkal való ellátása, amelyeknek a rezgése „csökkenti” a tulajdonképpeni építmény rezgését.

Ezeknek a modern antiszeizmikus technológiáknak [1], [2] a fejlődése elérte azt a szintet, hogy a szerkezetek károsodása nemcsak megelőzhető, hanem a rendszereket irányító mechanikus paraméterek *valós idejű* adaptálásával *a priori* meghatározható a teljes szerkezet viselkedése a földrengés alatt. Az így elért szerkezeti ellenőrzés az építmények földrengésbiztos tervezésének legfejlettebb koncepcióját képezi.

## 2. Passzív szerkezeti ellenőrzés

A passzív ellenőrzés lényege a szerkezet szeizmikus válaszának a csökkentése mesterséges csillapító berendezések és szeizmikus szigetelők használatával. A passzív ellenőrző berendezések biztosítják a szerkezet megfelelő szeizmikus választ változtathatatlan és előre meghatározott módon.

### 2.1. Csillapító rendszerek

Ezek a berendezések (**1. ábra**) hidraulikus működési módjuk és – az esetek többségében – viszkózus típusú [3] kialakításuk következtében biztosítják a szerkezet megnövekedett csillapító tulajdonságát. A szerkezeti elemek közé beépített hidraulikus csillapítók felhasználásának széles skálája lehetséges.

A szerkezetek már a tervezéskor elláthatók csillapító rendszerekkel [4], de a szeizmikus hatások ellen védeni kívánt épülete-

ket utólag is fel lehet szerelni csillapítókkal [5].



**1. ábra.** *Beépített hidraulikus csillapítók.*

## **2.2. Szeizmikus szigetelők**

Ezek a berendezések (**2. ábra**) gumi, acél, neoprén és ólom rétegekből állnak amelyek együttesen nagyfokú szilárdságot kölcsönöznek a szigetelőnek a függőleges erőkkel és fokozott rugalmasságot a vízszintes erőkkel szemben. A szigetelő oldalirányú alakváltozásai ugyanolyan nagyságrendbe tartoznak akár csak a szigetelő mérete. Úgy is mondhatjuk, hogy a szigetelők a képlékeny csuklók keletkezésének a „keresztmetszetei”. Akárcsak a csillapító berendezések, a szigetelők is különböző helyekre szerelhetők, de legfőbbször mégis a szerkezet és az alap közé kerülnek.



**2. ábra.** *Szeizmikus szigetelők*

A földrengés során a szerkezetre ható kinetikus energia disszipálódása nemcsak a szeizmikus szigetelők oldalirányú deformálódásával, hanem súrlódással (rendszerint csúszó súrlódással) is történik.

## **2.3. Hozzáadott súlyok**

A passzív ellenőrzés harmadik módja a szerkezethez ( $n$  szabadság fokozatú rendszer) csatolt kiegészítő súly, ami így egy  $n+1$  szabadság fokozatú rendszert képez. A hozzáadott súly rezgésesei valamint a súly és a szerkezet közötti kötőelemek képlékenysége és csillapító hatása együttesen hozzájárul az eredeti rendszer (a szerkezet) rezgés-

seinek a csökkentéséhez. Az újabban épült szerkezeteknél a hozzáadott súly egy inga, amelynek az „ellentétes irányú rezgése” csökkenti a tulajdonképpeni szerkezet rezgéseit (**3. ábra**).

A végzett számításoknak megfelelően az épület felső szintjein a gyorsulás 30 % - 40 %-ban is mérséklődik. Ahogy a fentebb bemutatott módszerekből is kitűnik, a szerkezet földrengés elleni passzív védelmének alapeleme a szerkezetre ható kinetikus energiának bizonyos jól meghatározott részekre való irányítása, ahol lehetővé válik az energia disszipálása a szerkezeti elemek károsodása nélkül.

A passzív ellenőrzés nagy előnye egyfelől az egyszerűség, másfelől az igen egyszerű és olcsó karbantartás. Ugyanakkor, a passzív ellenőrző rendszer működése nem igényel külső forrásból való energiaellátást. A passzív ellenőrző rendszer hátránya a „konzervatorizmusában” rejlik, mert csakis a tervezési földrengés keletkezése esetén hatékony, a tervezési földrengésnél nagyobb intenzitású szeizmikus mozgás esetén a szerkezet sebezhetővé válik.

## **3. Aktív szerkezeti ellenőrzés**

Az aktív ellenőrző technológiák valós időben ható és ellenőrzött külső erőkkel csökkentik a szerkezet szeizmikus válaszát. Az aktív ellenőrző rendszerek érzékelőkkel vannak ellátva, amelyek valós időben mérik a földrengés kinematikus paramétereit (elmozdulásokat, sebességeket, gyorsulásokat), a mért adatokat egy számítógépes rendszerhez továbbítják, ami a tulajdonképpeni szerkezet és a hozzáadott súly közötti kapcsolóelemek paramétereit (a képlékenységet és a csillapítást) vezérli. Ezáltal a hozzáadott súly ellentétes mozgást végez úgy, hogy a teljes rendszer szeizmikus válasza a földrengésnek megfelelő legyen [6].

A szerkezetet és a hozzáadott súlyt aktuátorok, külső energiával működtetett elemek kapcsolják össze. Az aktív ellenőrző

rendszer hátránya a bonyolult vezérlőrendszer, a bizonytalan működés és az, hogy a valós szerkezetek esetén nagyon nagy reaktív erőre van szükség.

Egy különleges aktív ellenőrző rendszert képeznek az aktuátorok segítségével valós időben „megfeszíthető”, szerkezetbe épített feszítőrudak (merevítők). Az aktuátor által vezérelt feszültséggel ellenőrizhető a szerkezet szeizmikus válasza.

### 3.1. Félig aktív szerkezeti ellenőrzés

Az aktív ellenőrzés során a rezgések csökkentése a szerkezetnek az ellenőrző rendszerben való mozgása által létrehozott reaktív erőkkal történik. A félig aktív szerkezeti ellenőrző rendszerek esetében a merevítési / képlékenységi jellemzők valós időben történő változtatása kis intenzitású belső (mechanikus) energiaforrás segítségével történik. Ez csak akkor lehetséges, ha a rendszer különleges, a merevítési / képlékenységi jellemzőket vezérlő földrengésvédelmi berendezéssel van ellátva [5]. A berendezéseket maga a szerkezet mozgása „aktiválja” és a rezgés csökkentésének mértéke a hidraulikus vezérlés segítségével a rendszer (a viszkózus csillapító folyadék) nyílásainak ki- és bezárásával szabályozható. Egy ilyen rendszer használata esetén a vázakon átlósan elhelyezett csillapítók tulajdonságainak változtatása központilag vezérelhető. A hidraulikus rendszert vezérlő, a szerkezet mozgását érzékelő berendezés általában az épület tetején található. Hatékonyságuk és a működésükhöz szükséges energia alacsony költsége miatt a félig aktív ellenőrző rendszerek gyakran kerülnek felhasználásra.

### 4. Következtetések

A szeizmikus hatásnak kitett szerkezetek viselkedésének ellenőrzése a legfejlettebb és leghatékonyabb módja annak, hogy rezgéseket csökkentsük a földrengés során keletkezett kinetikus energia disszipálásával. A passzív ellenőrzés

(amely esetén a merevítési / csillapítási tulajdonságok változtathatatlanok) bebizonyította hatékonyságát mind az újonnan épült, szigetelőkkal és / vagy csillapítókkal ellátott épületek, mind a meglévő építmények reabilitása esetén.

Bár elméleti szempontból az aktív ellenőrzés hatékony, az építkezéseknél nehezebb kivitelezni az ilyen típusú rendszert a szerkezet „kiegyensúlyozásához” szükséges erők nagysága (és ennek következtében a magas energiafogyasztás) miatt.

Mivel a félig aktív ellenőrző rendszerek ötvözik a csillapítók kivitelezésének és a szerkezetben való elhelyezésnek az egyszerűségét a csillapítási (ritkább esetben merevítési) jellemzők valós időben történő változtathatóságával, ezek a leghatékonyabb és a legkönnyebben alkalmazható rendszerek úgy az épületek, mint a hidak esetében.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kunde, M. S.; Jengid, R. S.: *Seismic Behaviour of isolated bridges: A-State-of-the-art review*. EJSE, 3 (2003), p.140.
- [2] 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.
- [3] NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, October, 1997.
- [4] Containou, M. C.; Soong, T. T.; Dargush, G. F.: *Passive energy dissipation systems for structural design and retroprofit*. MCEER Monograph No.1, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, U.S.A., 1998.
- [5] Taylor, D. P.: *The Application of Energy Dissipating Damping Device to an Engineered structure or mechanism*. Taylor Devices Inc. (www.taylordevices.com), 2010.
- [6] Soong, T. T.: *Active Structural Control. Theory and Practice*, Longman, New York, U.S.A, 1990.