

# AMPLIFICAREA DINAMICĂ A CLĂDIRILOR NEREGULATE

Claudiu Sorin DRAGOMIR

## REZUMAT

Sunt prezentate rezultate noi în privința amplificării dinamice a răspunsului seismic la clădirile neregulate. S-au calculat excentricitățile pentru acest tip de clădiri și s-au comparat efectele neregularităților geometrice atât în plan cât și în elevație. Măsurători dinamice cu echipamentele GeoSIG și prelucrări ale acestora cu programul ARTeMIS s-au efectuat pentru determinarea parametrilor dinamici ai clădirii U.S.A.M.V. din București. Alternativa constructivă aleasă pentru protecția seismică a fost reconfor-marea acestei clădiri.

*Cuvinte cheie:* amplificare dinamică, structură neregulată, efect de torsiune, reconformare, rost seismic

## ABSTRACT

New results are presented regarding the dynamic amplification of seismic response for irregular buildings. The eccentricities were calculated for this type of buildings and the effects of geometrical irregularities both in plan and elevation were compared. Dynamic measurements with equipment GeoSIG and processing of the ARTeMIS program were developed for the determination of dynamic parameters of the building U.S.A.M.V. in Bucharest. The constructive alternative chosen for seismic protection was reshaping of this building.

*Keywords:* dynamic amplification, irregular structure, torsional effect, reshaping, seismic joint

## 1. Introducere

În România există încă multe construcții vechi, cu diferite forme neregulate în plan care au suferit avarii în urma acțiunilor cutremurelor la care au fost supuse în ultimul secol. Punerea lor sub siguranță este o cerință importantă pentru proprietari și desigur urgentă pentru autorități. Articolul prezintă rezultate noi în privința amplificării dinamice a răspunsului seismic la clădirile neregulate. În acest scop s-au comparat efectele neregularităților geometrice atât în plan cât și în elevație și s-a pus în evidență

necesitatea tronsonării clădirilor de tip L, în special în cazul clădirilor vechi, din perioade în care nu au existat norme specifice de protecție seismică. Această operațiune este prevăzută și în cele două coduri de proiectare seismică în vigoare, EC8 și P100-1:2006, însă numai ca recomandare.

## 2. Studiu de caz

În România, unde peste 60 % din teritoriu și populație sunt expuse cutremurului de Vrancea, trebuie luate măsuri urgente în ceea ce privește consolidarea clădirilor vechi de tip L. O astfel de clădire este și clădirea U.S.A.M.V. din București. Aceasta se prezintă ca o replică a clădirii ASAS, fostă ICAR înființată în 1927 (Fig.2). Clădirea ICAR a fost proiectată de Prof. arh. Florea Stănculescu și ing. Liviu Ciulley în 1928 având un plan în formă de U și cu regimul de înălțime S+P+3E pe o suprafață de 3900m<sup>2</sup>. Între aceiași ani 1928-29 și cu aceiași proiectanți s-a construit pe un teren alăturat Căminul studenților agronomi, cu circa 250 paturi, având un plan în formă de L și regimul de înălțime S+P+4E (Fig.1). Această clădire a fost avariata întâi de cutremurul din 1940, consolidată apoi de Prof. Aurel

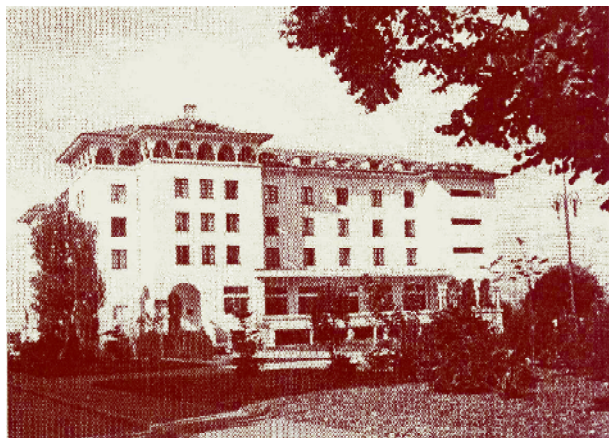


Fig. 1. Căminul studenților agronomi construit în 1929



Fig. 2. Amplasamentul celor două clădiri U.S.A.M.V. și ASAS

A. Beleş, avariata din nou foarte sever în 1977 și demolată în 1996. Forma în L a fost preluată ulterior și pentru Hotelul Carlton cu 2S+P+12E proiectat în 1935 de arh. G.M. Cantacuzino, arh. C. Arion și ing. D. Mavrodin și construit în 1936.

În plan clădirea U.S.A.M.V. are o formă de E și este fragmentată prin patru rosturi de dilatație în cinci corpuri distincte  $A_1, A_2, A_3, A_4$  și  $A_5$ . Cele 4

corpuri care formează aripile clădirii au o formă de L cu câte un pinten și nu au nici o axă de simetrie (fig. 3). Regimul de înălțime al clădirii este DS+P+3E în toate corpurile [1].

Într-unul din articolele prezentate în bibliografie [6], a fost pus în evidență faptul că planul în L este o cauză cu efect global, de ansamblu, iar consecința a fost torsiunea generală a fiecărui corp în parte.

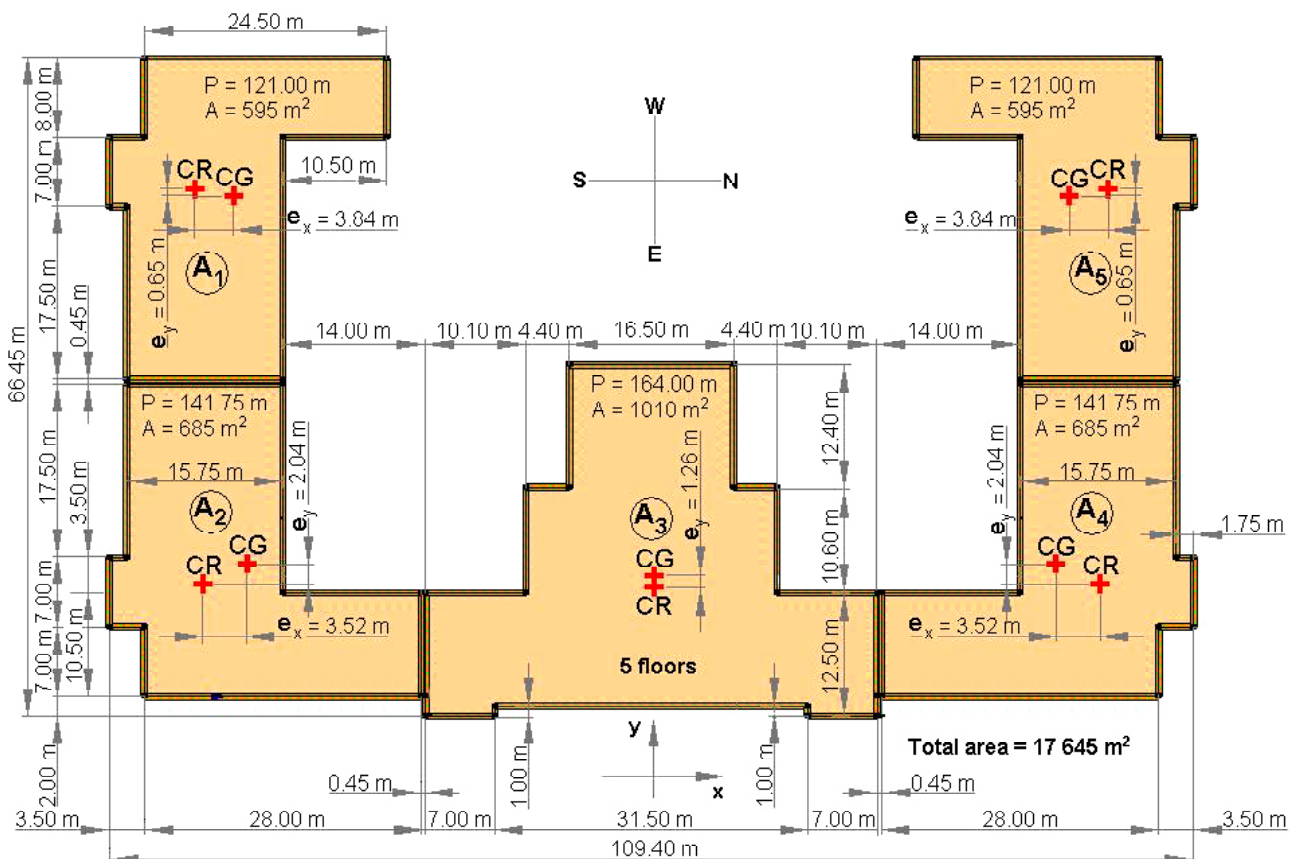


Fig. 3. Forma în plan a clădirii USAMV din București



Fig. 4. Căminul studenților agronomi construit în 1929

Din acest motiv ar fi un nonsens să se mențină configurațiile improprii în formă de L, iar după un timp istoria, deja binecunoscută din acest amplasament, să se repete (fig. 4). Soluția, tehnologic posibilă astăzi, constă în practicarea a patru rosturi seismice transversale și ranforsarea corpurilor astfel formate în dreptul noilor rosturi. Se obțin opt corpuri aproape dreptunghiulare, iar la corpul central  $A_3$  prevăzut prin construcție cu o axă transversală de simetrie, se poate interveni din exterior. În felul acesta se elimină torsiunea generală din toate cele nouă corpuri (fig. 5).

### 3. Rezultatele măsurărilor in situ cu echipamentul geodinamic GEOSIG Elveția, compus din aparatele GBV-316 și GSR-16PC

Înregistrările parametrilor dinamici ai clădirii s-au efectuat cu aparatul GeoSIG GBV-316 la parter și etajul 3 al clădirii. S-au înregistrat succesiv deplasările structurii spațiale în cele trei direcții principale NS, EV și verticala Z, măsurate în mm (fig. 6), vitezele corespunzătoare în mm/s (fig. 7), accelerațiile în mm/s<sup>2</sup> (fig. 8), smuciturile în mm/s<sup>3</sup> (fig. 9), frecvențele în Hz și perioadele proprii în s.

Din prelucrările înregistrărilor cu soft-ul GeoDAS s-au obținut valorile maxime pentru deplasări, viteze, accelerații, smucituri precum și frecvențele respectiv perioadele proprii ale clădirii. Din analiza lor rezultă următoarele observații:

1. Perioadele oscilațiilor fundamentale după cele două direcții orizontale sunt între 0,31 s și 0,48 s definind astfel structuri de rigiditate medie. Evident corpurile  $A_1$  și  $A_2$  sunt ceva mai rigide ca  $A_3$ . De fapt rosturile fiind numai de dilatație corpurile au fundații comune și primesc aceeași excitație seismică.



Fig. 5. Pozițiile CG și CR pentru varianta propusă



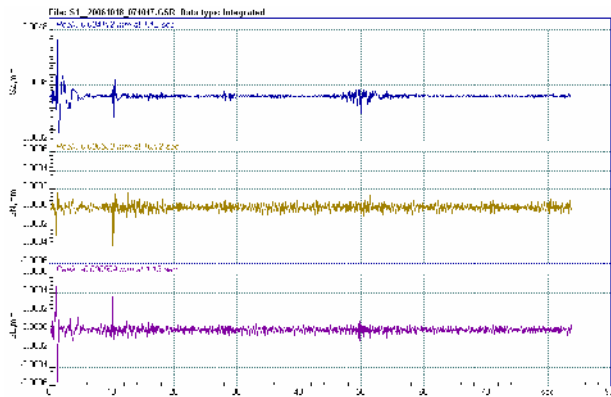


Fig. 6. Deplasările pe cele 3 direcții

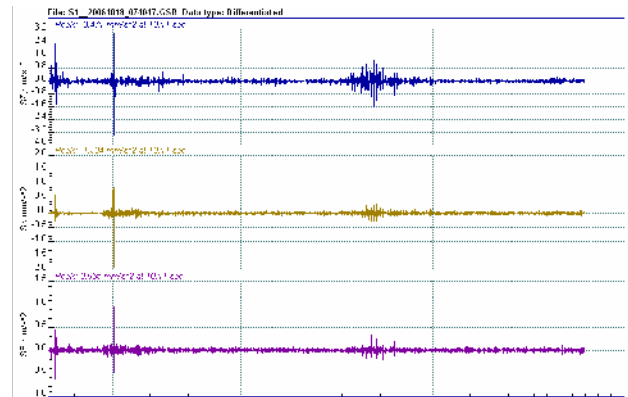


Fig. 7. Accelațiile pe cele 3 direcții

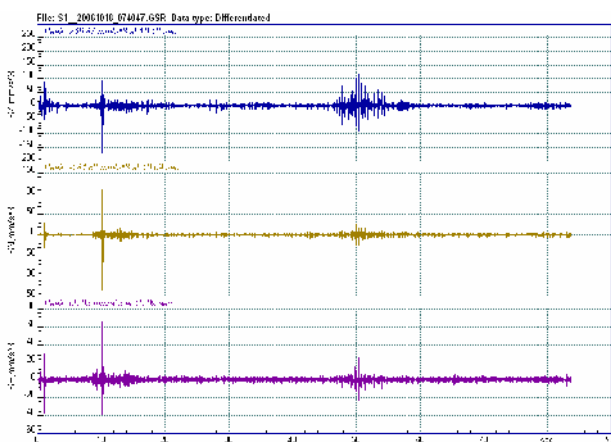


Fig. 8. Smuciturile pe cele 3 direcții

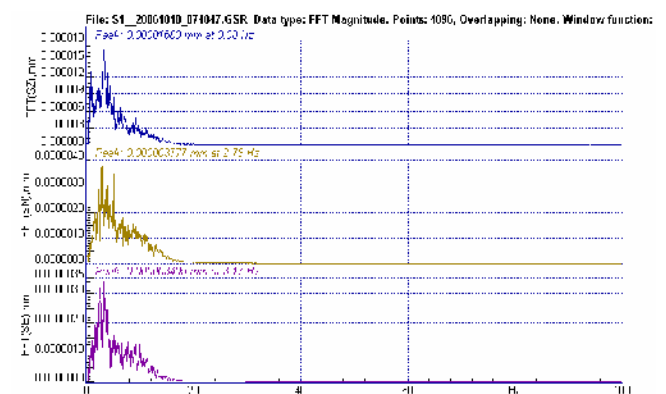


Fig. 9. FFT ale deplasărilor pe cele 3 direcții

2. Deoarece după harta de hazard seismic perioada terenului din amplasament ia valoarea de  $T = 0,83$  s nu este pericol de rezonanță.

3. Toate smuciturile sunt cu mult mai mici decât pragul fiziologic uman de 30 gal/s ceea ce înseamnă că nu sunt probleme de confort [5].

Pentru determinarea frecvențelor, respectiv perioadelor corespunzătoare modurilor proprii de oscilație pentru corpul  $A_2$  al clădirii din zidărie cu sâmburi din beton armat s-a utilizat sistemul de achiziție de date seismice GSR-16PC împreună cu programul de calcul modal ARTEMIS (fig. 10).

Cu cei cinci senzori ai sistemului s-au efectuat înregistrări după două scheme de amplasare: una în plan orizontal la nivelul etajului 3 al corpului  $A_2$  și cealaltă în plan vertical: a fost amplasat câte un senzor la fiecare nivel. Fiecare senzor are 3 canale corespunzătoare direcțiilor EV, NS și verticala. Pentru utilizarea înregistrărilor cu programul

ARTEMIS, acestea trebuie convertite într-un format corespunzător. Acest lucru s-a calculat cu programul GeoDAS [3].

Problema care a apărut a constatat în faptul că programul GeoDAS a fost proiectat să permită această operație numai pentru 12 canale și ca urmare pentru prelucrările ulterioare cu ARTEMIS

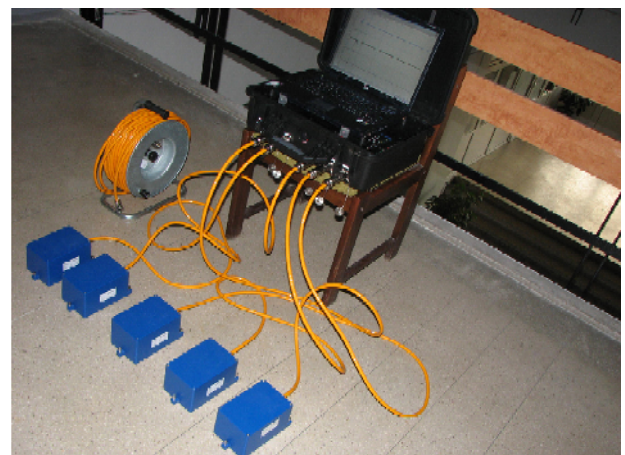


Fig. 10. Sistemul pentru instrumentare seismică GSR-16PC

s-au utilizat numai înregistrările de la 4 senzori (4 x 3 = 12 canale). Din acest motiv în figura 11, în care sunt prezentate schemele de amplasare a senzorilor în corpul A<sub>2</sub> pe cele două planuri, apar numai 4 poziții ocupate de senzori.

Calculul modal arată că frecvența corespunzătoare primului mod de oscilație în ambele cazuri este de aproximativ 2,54 Hz, ceea ce înseamnă o perioadă fundamentală de oscilație de 0,39 s.

#### 4. Studiul fenomenului de amplificare dinamică în raport cu regimul de înălțime al structurilor

În continuare, cu ajutorul programului de calcul structural ROBOT Millennium, s-a efectuat calculul seismic pentru patru structuri idealizate în L cu regim de înălțime P+3E, P+5E, P+7E și P+9E. Înălțimea fiecărui etaj este de 3 m, traveele sunt tot de 3 m, iar înălțimea totală a structurilor este de 12 m, 18 m,

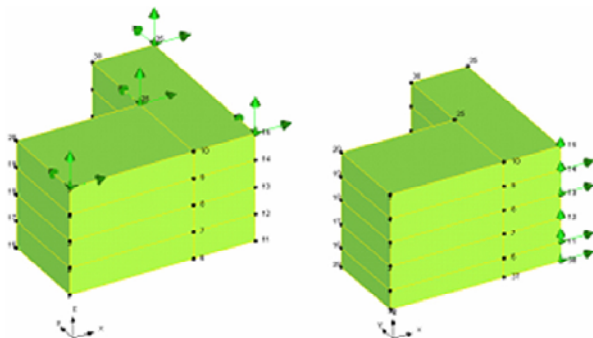


Fig. 11. Scheme de amplasare a senzorilor

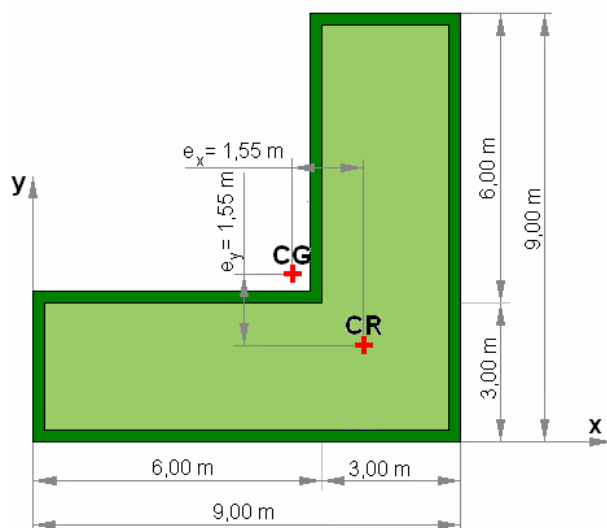


Fig. 12. Poziția CG și CR pentru planul L

24 m și 30 m. Pentru planul în L au fost reprezentate în figura 12 pozițiile celor două centre intrinseci, CG și CR [2].

Coordonatele centrului de greutate și ale centrului de rotație față de sistemul de referință din figura 12 sunt

$$\begin{aligned} x_{CG} &= 5,50 \text{ m} & x_{CR} &= 7,05 \text{ m} \\ y_{CG} &= 3,50 \text{ m} & y_{CR} &= 1,95 \text{ m} \end{aligned}$$

Excentricitățile dintre centrul de greutate și centrul de rotație după cele două direcții ortogonale

$$\begin{aligned} e_x &= x_{CR} - x_{CG} = 7,05 - 5,50 = \\ &= 1,55 \text{ m} > 0,10 \times 9 = 0,90 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_y &= y_{CG} - y_{CR} = 3,50 - 1,95 = \\ &= 1,55 \text{ m} > 0,10 \times 9 = 0,90 \text{ m} \end{aligned}$$

Condițiile de regularitate geometrică în plan conform Eurocodului 8

$$\Delta_x = \Delta_y = \frac{3,00}{9,00} \times 100 = 33\% > 15\%$$

Condițiile de regularitate geometrică în plan conform P100-1:2006

$$S_{\text{inf asuratoare}} = L_x L_y = 9,00 \times 9,00 = 81,00 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{planseu}} = 6,00 \times 3,00 + 9,00 \times 3,00 = 45,00 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{inf asuratoare}} - S_{\text{planseu}} = 81,00 - 45,00 = 36,00 \text{ m}^2$$

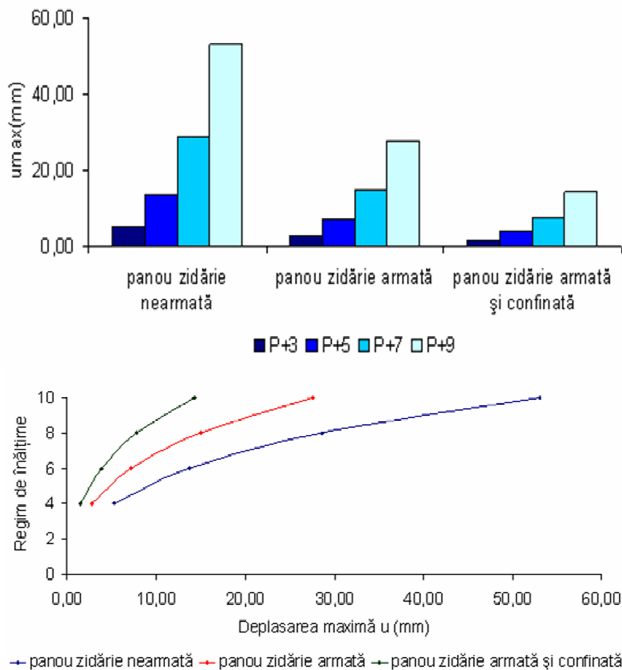
$$S_{\text{inf asuratoare}} - S_{\text{planseu}} = 36,00 \text{ m}^2 >$$

$$> 15\% S_{\text{planseu}} = \frac{15}{100} \times 45,00 = 6,75 \text{ m}^2$$

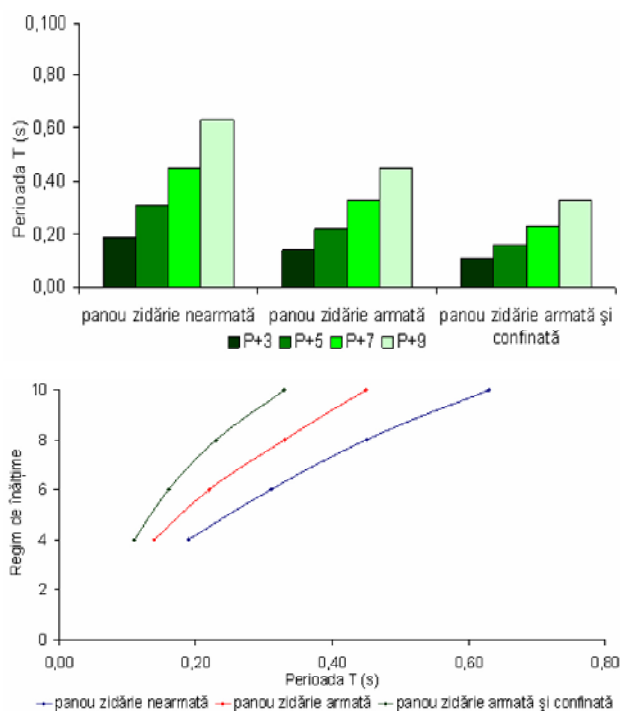
Se observă că planul în L cu dimensiunile conform celor din figura 12 nu satisface niciuna din condițiile de regularitate impuse de norme. Concluzia este că tipul de construcție ales la proiectare în 1950, nu prezintă regularitate în plan [4].

Apareiajul definit de raportul dintre înălțimea etajului  $h = 3$  m și traveea cadrelor  $l = 3$  m este egal cu unitatea, spre deosebire de valorile subunitare recomandate de coduri pentru clădirile ce se construiesc în zonele seismice. În Japonia de exemplu, înălțimea etajului este între 2,25-2,40 m.

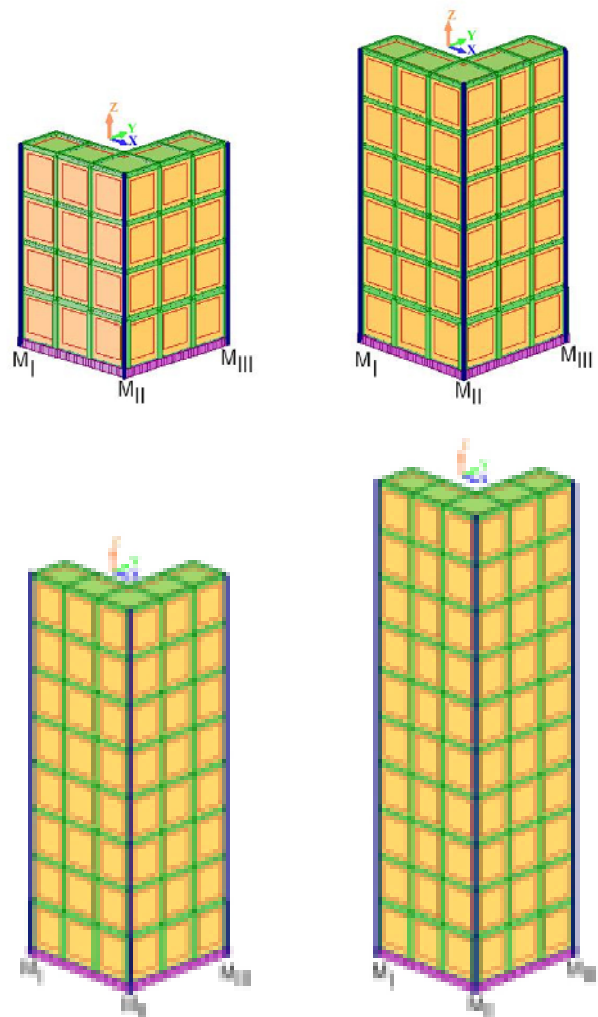
Valorile obținute în urma calculului structural atât pentru deplasările maxime (fig. 13), cât și pentru perioadele de oscilație (fig. 14) sunt reprezentate comparativ pentru cele patru tipuri de structuri cu aceeași dispoziție în plan și regim de înălțime diferit (fig. 15).



**Fig. 13.** Deplasările maxime pentru cele 4 tipuri de clădiri luate în studiu, în cele 3 variante structurale



**Fig. 14.** Perioadele de oscilație pentru cele 4 tipuri de clădiri luate în studiu, în cele 3 variante structurale



**Fig. 15.** Structuri cu aceeași dispoziție în plan și regim de înălțime diferit

Cele trei variante structurale considerate în calcule pentru fiecare regim de înălțime în parte au fost: 1) cadru spațial cu planșee din b.a. și pereți din zidărie simplă, 2) cadru spațial cu planșee din beton armat și pereți din zidărie armată în rosturile orizontale și 3) cadru spațial cu planșee din beton armat și pereți din zidărie armată în rosturile orizontale și confinată. Pentru aceste variante structurale, în figura 16 au fost puse în evidență deformatele din cutremur la partea superioară a structurii cu regimul de înălțime P+9.

Cu ajutorul valorilor obținute din calcule pentru deplasările din cutremur ale celor patru structuri cu aceeași formă în plan, însă cu regim de înălțime diferit, s-a reprezentat în figura 17 variația acestor deplasări în raport cu cele trei tipuri de pereți din zidărie.

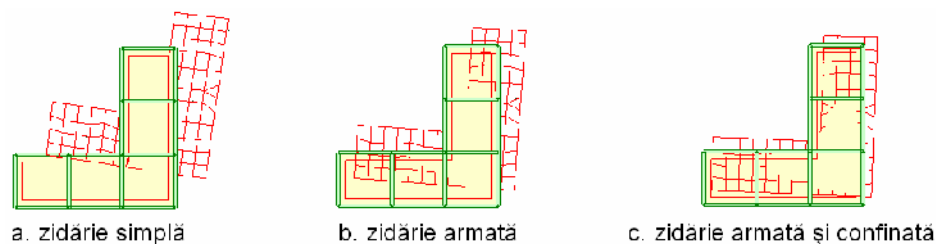


Fig. 16. Deformata la partea superioară a structurii

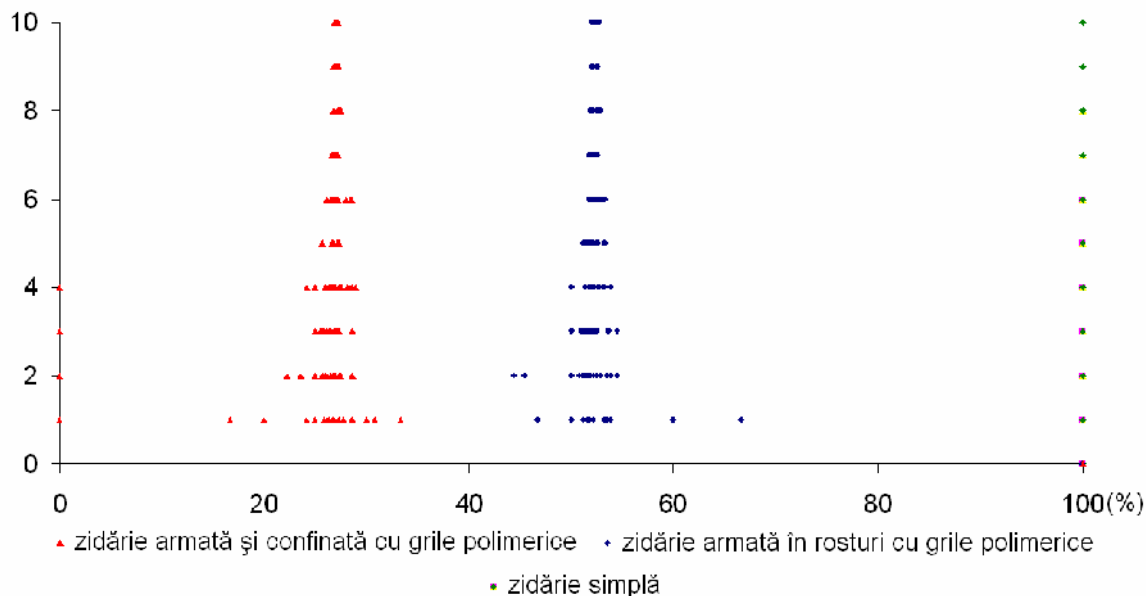


Fig. 17. Variația deplasărilor în raport cu tipul pereților din zidărie

## 5. Concluzie

Comportarea clădirilor etajate la cutremurele de pământ depinde de conformarea lor seismică. La aceleași rigidități flexionale clădirile neregulate prezintă deformații și deplasări mult mai mari decât clădirile uniforme, masic și structural, datorită fenomenului de răsucire globală. Amplificarea dinamică variază neliniar cu înălțimile clădirilor. Pentru protecția seismică a clădirilor neregulate, mai ales a celor vechi, există două alternative constructive: consolidarea sau reconfurmarea. Atunci când sistemul constructiv și funcționalitatea clădirii o permit reconfurmarea este soluția firească deoarece elimină cauza avariilor. Această alternativă este și mult mai ieftină. Studiul de caz prezentat în articol confirmă această afirmație.

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Alexe, R., Călin, A., Călin, C., Dragomir, C., Nicolae, M., Pop, O., Slave, C., *Earthquake risk reduction of university buildings*, Proceedings of the European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 5-8 September 2006, paper 522
- [2] Dragomir, C., *Comparative Study on the dynamic amplification of asymmetric structures*, Buletinul Științific al U.T.C. București, România, octombrie 2007
- [3] Dragomir, C., *Influența fenomenului de amplificare dinamică asupra răspunsului seismic al construcțiilor din zidărie*, Teza de doctorat, Universitatea Tehnică de Construcții București, România, ianuarie 2008
- [4] Dragomir, C., *Evaluarea fenomenului de amplificare dinamică prin instrumentare seismică a clădirilor etajate*, Sesiunea Științifică CIB, Universitatea Transilvania din Brașov, România, noiembrie 2008
- [5] Sofronie, R., *Raport de expertiză tehnică nr. 69/2006*
- [6] Sofronie, R., *Dilemma on some existing buildings: Collapse prevention or demolition?*, International Workshop on Measures for the Prevention of Total Collapse of Existing Low-Rise Structures, 17-20 November 2007, Istanbul, Turkey.