A XIV-a Conferinţă internaţională – multidisciplinară,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2014

STUDIUL COMPORTĂRII STRUCTURILOR IZOLATE CU SISTEME PENDULARE CU FRECARE
Partea a II-a

Claudiu Mirel IAVORNIC, Vasile IANCU, Gilbert-Rainer GILLICH

STUDY OF THE BEHAVIOUR OF STRUCTURES INSULATED WITH FRICTION PENDULUM SYSTEMS - II

The earthquakes have been, and are a great danger against humanity. The study presented in this paper aims to determine the response of an insulated structure due to earthquakes vibration loads, which are randomly, non-periodic and contain various frequencies. The study, made on a two-story structure involved finite element analysis, to determine the displacements, velocities and accelerations in various locations on the structure. The actual results were obtained using statistical methods, in order to determine the dynamic behaviour of a vibrating structure.

Keywords: base isolation, friction, pendulum, structure
Cuvinte cheie: izolator seismic, frecare, pendul, structură

4. Rezultate obținute

Se prezintă rezultatele analizei efectuate pe o structură cu masa de 28 t, izolată faţă de sol prin intermediul a patru izolatori seismici de tip pendul cu frecare. S-a urmărit evaluarea comportamentului izolatorului seismic, astfel încât să se obţină o atenuare semnificativă a valorii acceleraţiei la partea superioară a cadrului testat în patru puncte situate în colţurile ramei (vertexuri) - vezi partea I-a. Figurile 5-8 reprezintă spectrul de răspuns al acceleraţiilor în punctele considerate.

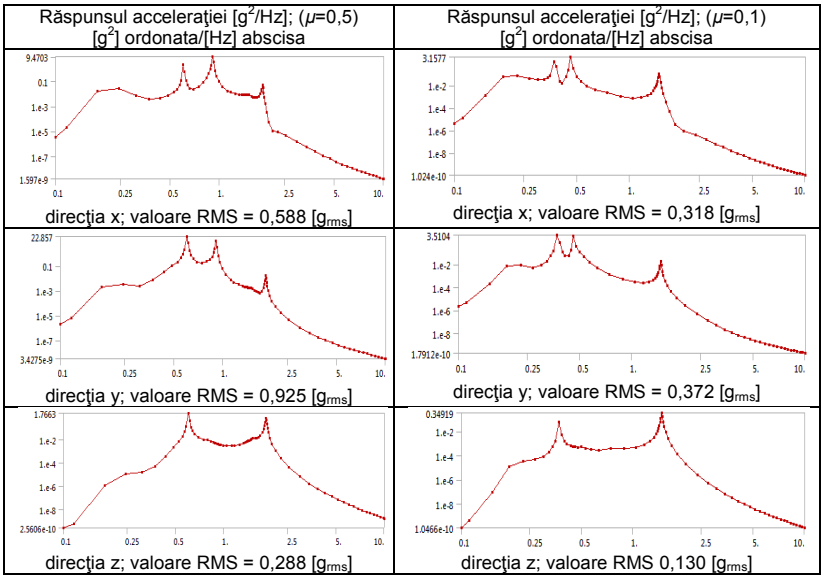


Fig. 5 Spectrul de răspuns pentru vertexul PSD 1

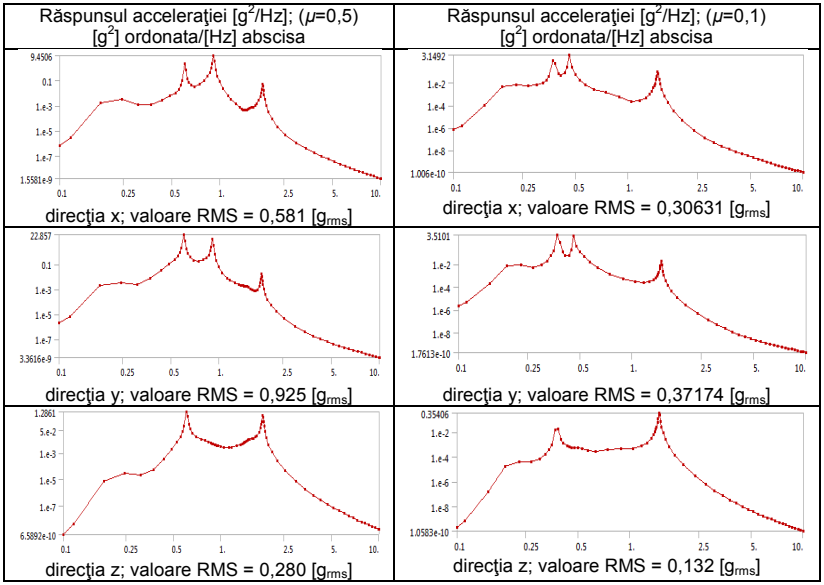


Fig. 6 Spectrul de răspuns pentru vertexul PSD 2

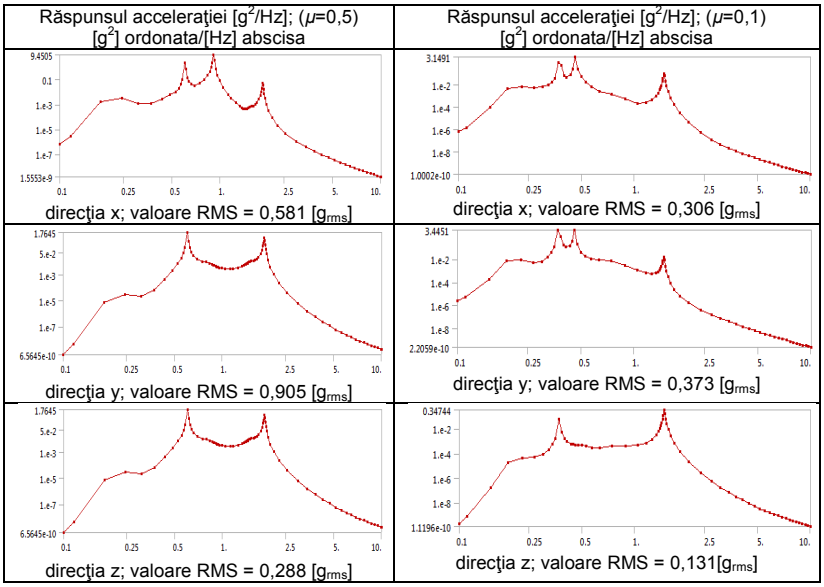


Fig. 7 Spectrul de răspuns pentru vertexul PSD 3

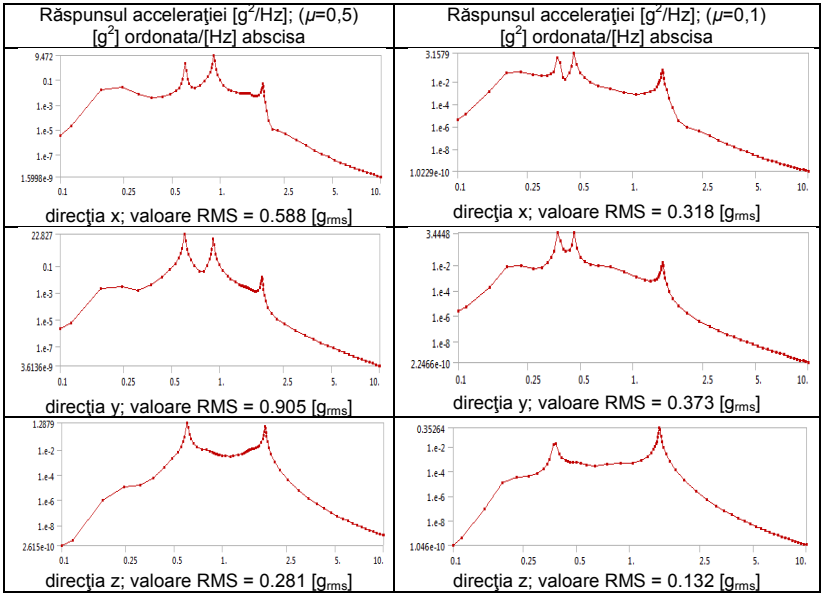


Fig. 8 Spectrul de răspuns pentru vertexul PSD 4

Analizele au demonstrat că pe măsura scăderii valorii coeficientului de frecare, valoarea spectrului de acceleraţii care reprezintă răspunsul structurii se reduce corespunzător, în paralel cu creşterea perioadei de oscilaţie.

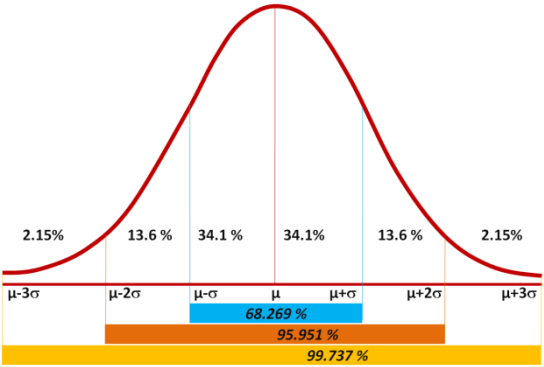


Fig. 9 Distribuţia abaterii standard a spectrului de răspuns pentru trei intervale de probabilitate

Pentru structura considerată au fost determinate de asemenea probabilităţile de răspuns σ. Sigma reprezintă abaterea standard a spectrului de răspuns şi are o distribuţie de tip Gauss. Deoarece amplitudinea sau intensitatea vibraţiei aleatoare se modifică în raport cu timpul, pentru diferite eşantioane de timp, σ va avea diferite valori ca în figura 9, unde pe ordonată este definit [1/g] iar pe abscisă se află deviaţia standard σ, unde μ reprezintă media care este 0 în punctul de probabilitate maximă. Astfel există o probabilitate de 68,269 % ca maximele mărimilor fizice studiate să se afle în intervalul $\pm_1\sigma$, 27,2 % în intervalul $\pm_2\sigma$ şi 4,3 % în intervalul $\pm_3\sigma$.

Rezultatele analizei cu element finit au reliefat cu deosebită claritate comportamentul unei structuri de tip cadru izolată faţă de bază prin intermediul unor pendule cu frecare în construcţie inovativă cu un strat elastomeric. Structura a fost supusă unei excitaţii cu un spectru de acceleraţii ale bazei, ce simulează efectele unui cutremur de intensitate mare. Astfel o primă concluzie ce se desprinde este reprezentată de schimbarea frecvenţelor de răspuns din cadrul spectrului pentru cele două cazuri considerate (coeficienţi de frecare diferiţi), pentru cazul cu μ = 0,1 se obţine reducerea frecvenţei la care valoarea spectrului este maximă deci o evidentă creştere a perioadei de oscilaţie şi prin urmare o reducere a valorii acceleraţiilor periferice ale structurii.

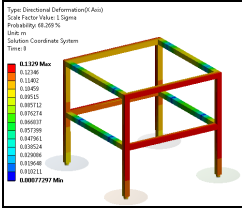
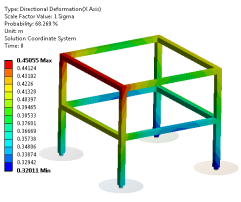
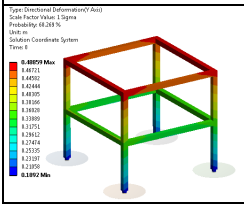
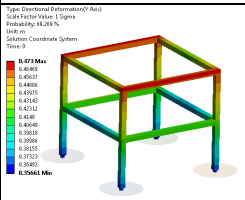
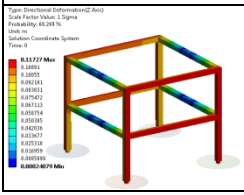
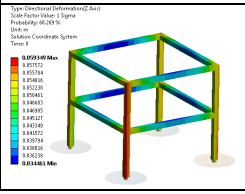
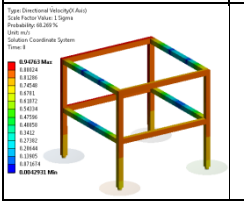
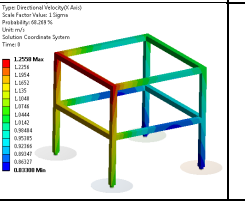
Coeficient de frecare μ=0,5		Coeficient de frecare μ=0,1	
Harta valorilor deplasărilor pe axa ***x*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea deplasărilor [m] maxime pe intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor deplasarilor pe axa ***x*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea deplasărilor [m] maxime pe intervalele de probabilitate σ
	*dx* ($_1\sigma$)= ***0,13*** [m] *dx* ($_2\sigma$) = 0,27 [m] *dx* ($_3\sigma$) = 0,40 [m]		*dx* ($_1\sigma$) = ***0,45*** [m] *dx* ($_2\sigma$) = 0,90 [m] *dx* ($_3\sigma$) = 1,35[m]
Harta valorilor deplasărilor pe axa ***y*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea deplasărilor [m] maxime pe intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor deplasărilor pe axa ***y*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea deplasărilor [m] maxime pe intervalele de probabilitate σ
	*dy* ($_1\sigma$) = ***0,49*** [m] *dy* ($_2\sigma$) = 0,97 [m] *dy* ($_3\sigma$) = 1,47 [m]		*dy* ($_1\sigma$) = ***0,473*** [m] *dy* ($_2\sigma$) = 0,946 [m] *dy* ($_3\sigma$) = 1,419 [m]
Harta valorilor deplasărilor pe axa ***z*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea deplasărilor [m] maxime pe intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor deplasărilor pe axa ***z*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea deplasărilor [m] maxime pe intervalele de probabilitate σ
	*dz* ($_1\sigma$) = ***0,12*** [m] *dz* ($_2\sigma$) = 0,23 [m] *dz* ($_3\sigma$) = 0,35 [m]		*dz* ($_1\sigma$) = ***0,059*** [m] *dz* ($_2\sigma$) = 0,120 [m] *dz* ($_3\sigma$) = 0,178 [m]

Fig. 10 Valorile răspunsului deplasărilor raportate la intervalele de probabilitate

Coeficient de frecare μ=0,5		Coeficient de frecare μ=0,1	
Harta valorilor vitezelor pe axa ***x*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea vitezelor [m/s], raportată la intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor vitezelor pe axa ***x*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea vitezelor [m/s], raportată la intervalele de probabilitate σ
	*vx* ($_1\sigma$)=***0,95*** [m/s]. *vx* ($_2\sigma$)=1,89 [m/s] *vx* ($_3\sigma$)= 2,84 [m/s]		*vx* ($_1\sigma$)=***1,26*** [m/s] *vx* ($_2\sigma$)=2,51 [m/s] *vx* ($_3\sigma$)=3,77 [m/s]

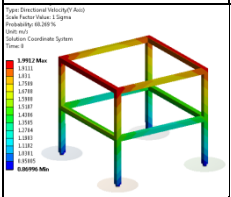
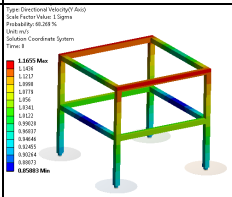
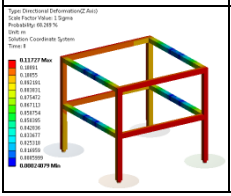
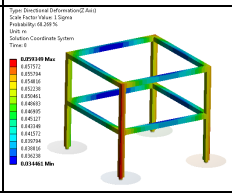
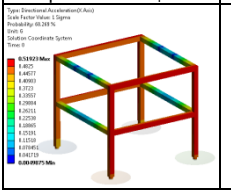
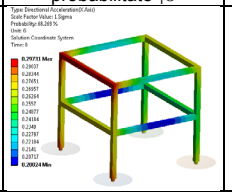
Harta valorilor vitezelor pe axa ***y*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea vitezelor [m/s], raportată la intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor vitezelor pe axa ***y*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea vitezelor [m/s], raportată la intervalele de probabilitate σ
	*vy* ($_1\sigma$)= ***1,99*** [m/s] *vy* ($_2\sigma$)= 3,98 [m/s] *vy* ($_3\sigma$)= 5,97 [m/s]		*vy* ($_1\sigma$)= ***1,16*** [m/s] *vy* ($_2\sigma$)= 1,72 [m/s] *vy* ($_3\sigma$)= 3,50 [m/s]
Harta valorilor vitezelor pe axa ***z*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea vitezelor [m/s], raportată la intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor vitezelor pe axa ***z*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea vitezelor [m/s], raportată la intervalele de probabilitate σ
	*vz* ($_1\sigma$)= ***0,48*** [m/s] *vz* ($_2\sigma$)= 0,97 [m/s] *vz* ($_3\sigma$)= 1,45 [m/s]		*vz* ($_1\sigma$)= ***0,19*** [m/s] *vz* ($_2\sigma$)= 0,39 [m/s] *vz* ($_3\sigma$)= 0,58 [m/s]

Fig. 11 Valorile răspunsului vitezelor raportate la intervalele de probabilitate

Graficele ataşate demonstrează aceste variaţii ale valorilor acceleraţiilor în patru puncte de interes în zona superioară cea mai expusă efectelor pulsaţiilor acceleraţiilor.

Valorile RMS (root mean square) adâncesc claritatea efectului atenuării acceleraţiilor.

În plus pentru a accentua credibilitatea rezultatelor au fost determinate şi probabilităţile de răspuns σ ale spectrului deplasărilor, vitezelor şi acceleraţiilor ansamblului excitat în totalitate indicându-se sub formă de franje colorate variaţia acestora în cele două cazuri.

Coeficient de frecare μ=0,5		Coeficient de frecare μ=0,1	
Harta valorilor acceleratiilor pe axa ***x*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea acceleraţiilor [m/s^2], raportata la intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor acceleratiilor pe axa ***x*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea acceleraţiilor [m/s^2], raportata la intervalele de probabilitate σ
	*ax* ($_1\sigma$) = ***0,519*** [g] *ax* ($_2\sigma$) = 1,038 [g] *ax* ($_2\sigma$) = 1,557 [g]		*ax* ($_1\sigma$) = ***0,297*** [g] *ax* ($_2\sigma$) = 0,298 [g] *ax* ($_3\sigma$) = 0,137 [g]

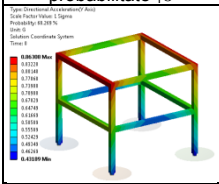
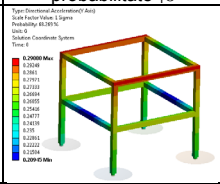
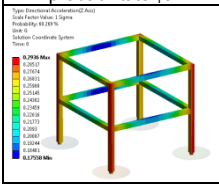
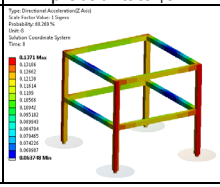
Harta valorilor acceleratiilor pe axa ***y*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea acceleraţiilor [m/s^2], raportata la intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor acceleratiilor pe axa ***y*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea acceleraţiilor [m/s^2], raportata la intervalele de probabilitate σ
	*ay* ($_1\sigma$) = ***0,863*** [g] *ay* ($_2\sigma$) =1,726 [g] *ay* ($_3\sigma$) = 2,589 [g]		*ay* ($_1\sigma$) = ***0,299*** [g] *ay* ($_2\sigma$) = 0,597 [g] *ay* ($_3\sigma$) = 0,897 [g]
Harta valorilor acceleratiilor pe axa ***z*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea acceleraţiilor [m/s^2], raportata la intervalele de probabilitate σ	Harta valorilor acceleratiilor pe axa ***z*** pentru intervalul de probabilitate $_1\sigma$	Valoarea acceleraţiilor [m/s^2], raportata la intervalele de probabilitate σ
	*az* ($_1\sigma$) = ***0,294*** [g] *az* ($_2\sigma$) = 0,587 [g] *az* ($_3\sigma$) = 0,880 [g]		*az* ($_1\sigma$) = ***0,137*** [g] *az* ($_2\sigma$) = 0,274 [g] *az* ($_3\sigma$) = 0,411 [g]

Fig. 12 Valorile răspunsului acceleraţiilor raportate la intervalele de probabilitate

Şi de această dată se confirmă efectul benefic al izolatorului cu strat elastomeric coroborat cu efectul reducerii coeficientului de frecare dintre ansamblurile glisante prezentate la începutul lucrării.

5. Concluzii

■ Izolarea seismică utilizând dispozitive cu frecare având suprafaţă de glisare construită pe curbe polinomiale se dovedeşte o soluţie viabilă, întru-cât forţele transmise de la sol la structură sunt atenuate pe de o parte datorită disipării energiei prin frecare, dar mai ales datorită modificării perioadei de oscilare a structurii şi deci scoaterea din zona de rezonanţă.

■ Un avantaj al acestor dispozitive faţă de cele clasice, cu suprafaţă de glisare sferică sau cilindrică este acela că se permite o reglare fină a răspunsului structurii, controlul mişcării fiind efectuat utilizând un număr mărit de parametri.

BIBLIOGRAFIE

[1] Minda, A.A., Gillich, G.-R., Iavornic,, C.M., Minda, P.F., *Analytical and Finite Element Study for Friction Pendulum with Parameterized Sliding Surfaces*,

Proceedings of the World Congress on Engineering 2012, Vol III, WCE 2012, London, U.K., July 4 - 6, 2012.
[2] Iavornic, C.M., Praisach, Z.-I., Vasile, O., Gillich, G.-R., Iancu, V., *Study of Stress and Deformation in Elastomeric Isolation Systems Using the Finite Element Method*, Recent Advances in Signal Processing, Computational Geometry and Systems Theory, pp. 239-244.
[3] Luis San Andres, *Derivation of Mode Acceleration Method for MDOF Systems (Proportional Damping or Light Damping.*
[4] Powell, G.H., *Missing Mass Correction in Modal Analysis of Piping Systems.*
[5] Dhileep, M., Shahul Hameed, N.P., Nagan, S. *An Alternative Cut-Off Frequency for the Response Spectrum Method of Seismic Analysis.*
[6] Kravchuk, N., Colquhoun, R., Porbaha, A., *Development of a Friction Pendulum Bearing Base Isolation System for Earthquake Engineering Education* California State University, Sacramento, CA..

Drd.Ing. Claudiu Mirel IAVORNIC
e-mail: ciavornic@gmail.com
Şef lucr.Dr.Ing. Vasile IANCU
preşedinte AGIR filiala Caraş-Severin
e-mail: v.iancu@uem.ro
Prof.Univ.Dr.Ing.Ec. Gilbert-Rainer GILLICH
Prorector Cercetare
e-mail: gr.gillich@uem.ro
Universitatea „Eftimie Murgu” Reşiţa
membri AGIR