

SOLUȚII ALTERNATIVE PENTRU STRUCTURI DIN OȚEL CU CONTRAVÂNTUIRI CENTRICE

G. Vezeanu¹ și Șt. Bețea²

ABSTRACT

În articol sunt analizate variante de înlocuire a contravântuirilor construcțiilor din oțel cu disipatori de energie prin frecare și vâscoși.

Pentru analiză este considerată o structură metalică multietajată duală, având câte patru panouri cu contravântuiri în lungul fiecărei direcții principale. Structura este regulată, are 14 niveluri, 3 deschideri și 3 travei. Aceasta este concepută și dimensionată în acord cu prevederile P100-2006, pentru zona orașului București. Existența a patru panouri cu contravântuiri pe fiecare direcție principală permite abordarea mai multor variante structurale, obținute prin înlocuirea contravântuirilor cu disipatori de energie în două sau în toate cele patru panouri. Sunt astfel analizate comparativ performanțele următoarelor soluții: structură cu contravântuiri centrice (soluția “clasică”), structură cu diagonale centrice și disipatori de energie vâscoși, structură cu disipatori de energie prin frecare, structură cu disipatori de energie prin frecare și vâscoși. Termenii de comparație în cazul acestor variante sunt constituiți de valorile anumitor mărimi ale răspunsului structurii (deplasare la vârf, accelerație absolută la vârf, forță tăietoare de bază, deplasări relative de nivel, etc), obținute prin calcul dinamic neliniar.

În lucrare sunt date relații de predimensionare pentru dispozitivele neconvenționale de disipare și este formulat un model simplificat, original, pentru comportarea postcritică a barelor comprimate.

Sunt prezentate concluziile care atestă eficiența dispozitivelor neconvenționale de energie.

1. INTRODUCERE

Sistemul structural cu contravântuiri centrice constituie o soluție frecvent utilizată în cazul construcțiilor metalice multietajate amplasate în zone seismice. Utilizarea acestora este însoțită însă de anumite dezavantaje, între care se pot menționa degradarea rapidă a capacității portante și a rigidității contravântuirilor. Acestea sunt cauzate de comportarea defavorabilă la solicitări ciclice a contravântuirilor centrice. În vederea remedierii acestui neajuns, sunt investigate posibilități alternative de înlocuire a contravântuirilor centrice (în totalitate, sau o parte a acestora) cu dispozitive de disipare de energie prin frecare sau/și de tip vâscos. Sunt astfel analizate comparativ patru tipuri de sisteme structurale având diverse mecanisme de disipare a energiei indusă de acțiunea seismică: prin histereză (plastificarea oțelului și frecare) și amortizare de tip vâscos. Primul dintre acestea (“variante 1”) este sistemul structural clasic, cu contravântuiri centrice. Celelalte trei (“variantele 2÷4”) reprezintă sisteme structurale alternative, la care diagonalele au fost înlocuite parțial sau total cu dispozitive de disipare de energie prin frecare și/sau vâscoase. Pentru analiză au fost utilizate programele de calcul *SAP2000*, *ANSR*.

2. DESCRIEREA STRUCTURII ÎN VARIANTA CLASICĂ (VARIANTA 1)

În varianta 1 (clasică) disiparea de energie se face integral (daca se neglijează amortizarea vâscoasă echivalentă intrinsecă) prin plastificarea zonelor disipative (diagonale întinse, grinzi de cadru necontravântuit și eventual bazele stâlpilor).

În lungul fiecărei direcții principale există câte patru panouri cu contravântuiri. Contravântuirile sunt în “X” pe două niveluri (intersecția acestora se face la mijlocul grinzilor de cadru). Modul în care sunt dispuse panourile cu contravântuiri și grinzile secundare poate fi observat în figura 2.

Rezultanta încărcărilor gravitaționale în gruparea ce conține acțiunea seismică este de 46855 kN. Primele două moduri proprii de vibrație sunt de translație cu $T1 = 1.48 \text{ sec}$ și $T2 = 1.46 \text{ sec}$. Elementele structurale au fost predimensionate aplicând metoda forțelor seismice static echivalente [*conform P100-2006*] ($S_{COD} =$

¹ Universitatea Tehnică de Construcții București, gvezeanu@utcb.ro, george_vezeanu@yahoo.com

² Universitatea Tehnică de Construcții București, stbeta@utcb.ro, stbeta@yahoo.com

7886 kN, $\gamma_I = 1.2$). Dimensiunile finale au fost stabilite prin calcul static și dinamic nelinier. Excitația utilizată pentru validarea secțiunilor prin calcul dinamic nelinier este accelerograma *Vrancea 1977, N-S, INCERC București*, cu ordonate multiplicată cu factorul 1.2.

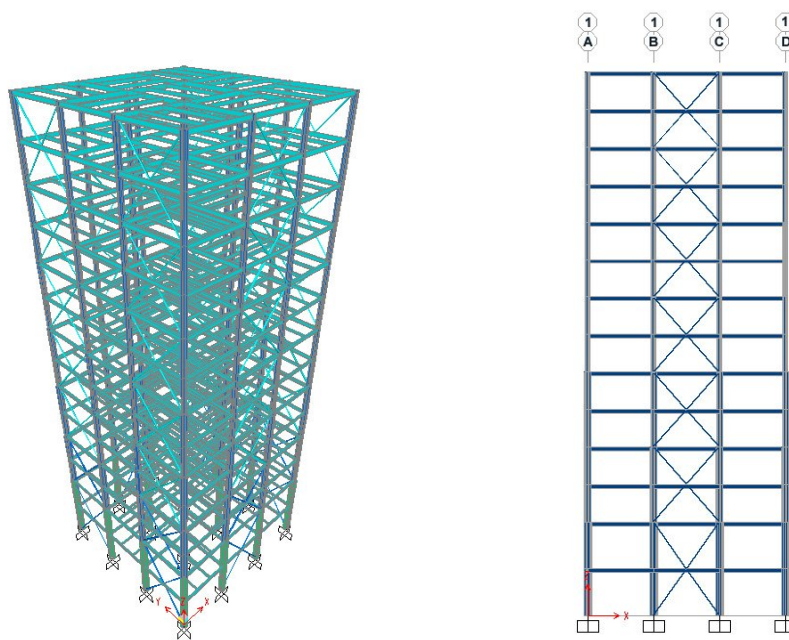


Figura 1 – Vedere axonometrică și elevație cadru marginal

Pentru elementele structurale au fost utilizate următoarele tipuri de secțiuni: stâlpi – cruce de malta, grinzi principale și secundare – dublu T, contravântuiri – țevă cu secțiune circulară. Dimensiunile secțiunilor sunt date în tabelele 1 - 3. Plăcile de planșeu (compozite – beton armat și tablă cutată) apar implicit în modelul de calcul prin sarcina transmisă de către acestea și constrângerile cinematice aplicate nodurilor din dreptul fiecărui planșeu (considerat infinit rigid în planul lui).

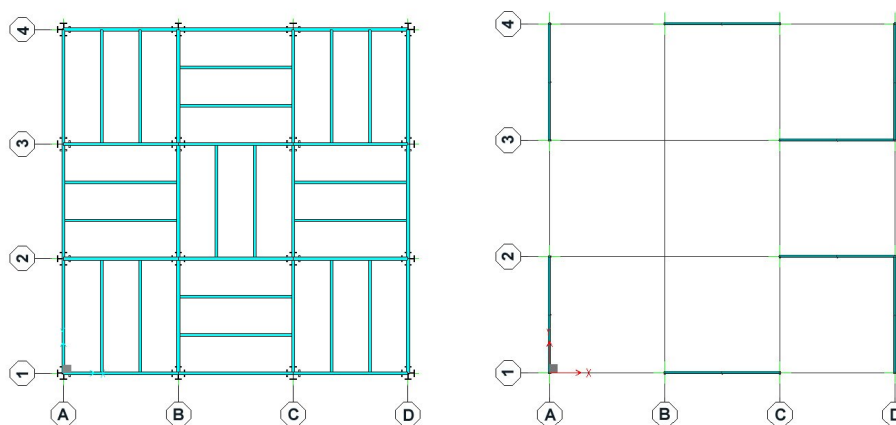


Figura 2 – Dispunerea grinzilor secundare și a panourilor cu contravântuiri

Tabele 1 – Secțiuni stâlpi

Stâlpi						
Secțiune	Nivel	h [mm]	t_w [mm]	b [mm]	t_f [mm]	Material
CM1	1-2	800	35	400	40	S355

Tabel 2 – Secțiuni contravântuiri

Contravântuiri			
Nivel	D [mm]	t [mm]	Material
1-4	159	22	S355

CM2	3-4	700	25	350	35	S355	5-6	159	20	S355
CM3	5-6	650	20	300	25	S355	7-8	159	18	S355
CM4	7-8	550	20	270	25	S355	9-10	159	16	S355
CM5	9-10	500	20	250	25	S355	11-14	140	10	S355
CM6	11-14	500	15	250	20	S355				

Tabel 3 – Grinzi principale și secundare

Grinzi principale						
Sectiune	Nivel	h [mm]	tw [mm]	b [mm]	tf [mm]	Material
H460x10F220x12	1-2	460	10	220	12	S355
H390x8F180x12	3-14	390	8	180	12	S355
H390x10F180x12	3-14	390	10	180	12	S355
Grinzi secundare						
H290x6F160x10	1-14	290	6	160	10	S355

În tabelele 1 – 3: h – gabaritul secțiunii, tw – grosimea inimii, b – lățimea tălpii, tf – grosimea tălpii, D – diametrul exterior al contravânturii și t – grosimea peretelui contravânturii.

3. COMPORTAREA POSTCRITICĂ A BARELOR COMPRIMATE

Testele efectuate pe elemente supuse la solicitări axiale ciclice în domeniul inelastic au pus în evidență anumite aspecte defavorabile privind comportarea acestora. Dezavantajele cele mai importante sunt reducerea capacității portante la compresiune după un număr mic de cicluri și rigiditatea mică la revenirea din zona post-critică. Reîncărcarea la întindere se produce după ce bara revine la forma rectilinie de dinaintea flambajului și după ce alungirea remanentă din ciclul anterior a fost consumată, ceea ce la nivel structură se traduce prin parcurgerea unei anumite deplasări relative de nivel până când contravântuirea să intre efectiv în lucru.

Modelele fenomenologice încearcă să urmărească fidel toate stadiile comportării barelor solicitate axial. În figura 3 sunt puse în evidență 9 ramuri distincte într-o variantă liniarizată [Roeder&Popov 1977]. Pentru descrierea completă a procesului de încărcare – descărcare – reîncărcare este necesar un număr mare de parametri care, în general, se pot obține doar prin experimente fizice.

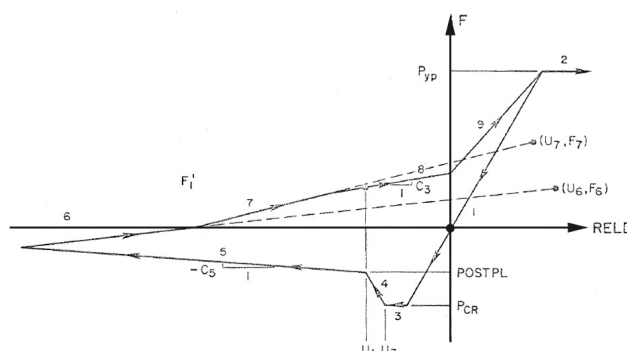


Figura 3 – Model fenomenologic pentru descrierea comportării barelor solicitate axial în domeniul nelinier

Pentru considerarea particularităților de comportare, au fost utilizate două modele simplificate de calcul pentru contravânturii. Primul dintre acestea presupune folosirea pentru contravânturii a elementului finit cu proprietăți neliniare “MultiLinear Plastic, Hysteresis type – Pivot” din SAP 2000, unde parametrul β_1 ia valori între 0.16 - 0.22 (în funcție de diagonala considerată).

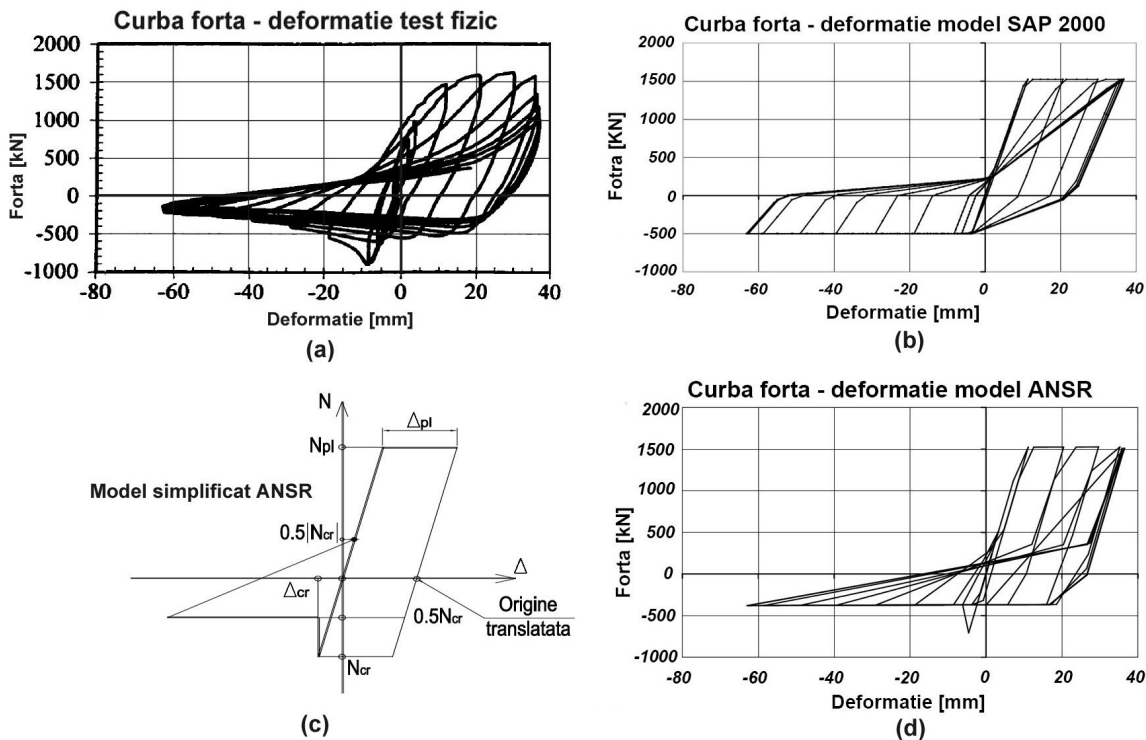


Figura 4 – Comparație rezultate experiment (fig. 5a) și rezultate modele simplificate SAP 2000 (fig. 5b) și ANSR (fig. 5c și 5d)

Cel de-al doilea model, introdus în programul ANSR în varianta dezvoltată în UTCB – consideră un palier rezidual de $0.5 \cdot N_{CR}$ după atingerea deplasării critice. Forța critică, N_{CR} , este atinsă doar la primul ciclu – în următoarele cicluri se intră direct pe palierul rezidual. Punctul de pivotare la descărcare din zona post-flambaj este fixat la $0.5 \cdot |N_{CR}|$. După fiecare incursiune în stadiul plastic la întindere (cu Δ_{pl}) originea este translatată spre dreapta cu alungirea Δ_{pl} (conform fig. 4c). În figura 4 este prezentată comparativ curba efort axial – deformație, obținută experimental [Shabak et al. 2001] și numeric (folosind elementele finite din SAP2000 și ANSR). Elementul considerat are următoarele caracteristici: $L = 3450 \text{ mm}$, $f_{Y,med} = 421 \text{ MPa}$, secțiune – țevă pătrată $127 \times 127 \times 8 \text{ mm}$. Datorită condițiilor de rezemare $\lambda = 65.8$.

S-a observat că rezultatele obținute cu cele două modele simplificate sunt foarte apropiate. Pentru prelucrările ulterioare s-a folosit primul model simplificat (elementul finit din SAP2000).

4. DESCRIEREA VARIANTELOR STRUCTURALE ALTERNATIVE

4.1. Structură cu contravântuiri centrice și disipatori de energie vâscoși (Varianta 2)

Prima dintre cele trei variante structurale alternative, constă în înlocuirea contravântuirilor cu disipatori de energie liniar-vâscoși, în două dintre cele patru panouri cu contravântuiri, pe fiecare direcție. În acest caz disiparea de energie se face atât prin plastificare (doar la nivelul contravântuirilor) cât și prin amortizare vâscoasă la nivelul disipatorilor. Cele două mecanisme diferite de disipare de energie (histeretic și vâscos) nu au pondere egală. Disipatorii vâscoși funcționează ca “ajutoare” pentru structură – i.e. suplimentar. Se urmărește astfel reducerea răspunsului structurii și menținerea elementelor acesteia (în afara contravântuirilor) în domeniul elastic. Dispunerea disipatorilor de energie vâscoși se face conform figurii 5.

Sistemul rezultat are primele două moduri de vibrație translații, cu perioade $T1 = 1.99 \text{ sec}$. și $T2 = 1.96 \text{ sec}$. Într-o primă aproximație, elementele structurii se dimensionează la o forță seismică corespunzătoare unei amortizări țintă de 25 % din nivelul critic (din care 5 % amortizare naturală).

Forța tăietoare de bază în acest caz este corectată cu factorul η :

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \zeta_{eq}}} \cong 0.58 \quad (1)$$

astfel $S_{corectat} = S_{cod}(\eta = 5\%) \cdot 0.58 = 4574 \text{ kN}$.

Secțiunile elementelor structurale rămân neschimbate, deoarece eliminarea unei părți din diagonale este compensată de reducerea forței tăietoare de bază datorită sporului de amortizare.

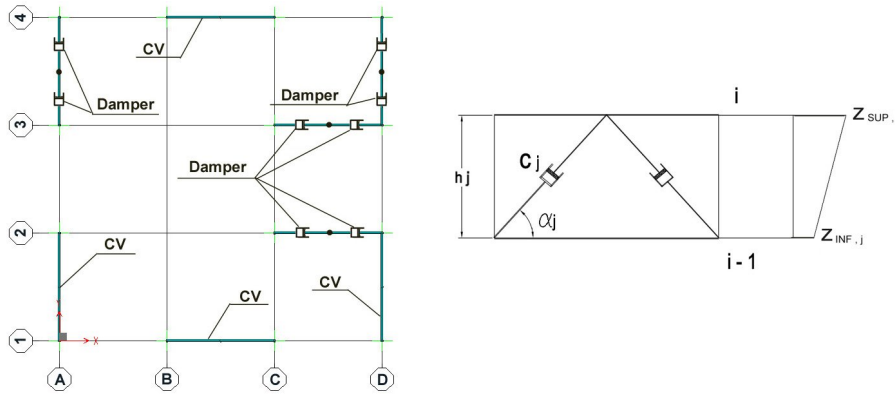


Figura 5 – Dispunere disipatori de energie vâscoși

Coefficienții de vâscozitate ai disipatorilor vâscoși se stabilesc din condiția ca amortizarea suplimentară să fie egală cu 20 % din nivelul critic. Pentru determinarea caracteristicii disipatorilor vâscoși se va utiliza metodologia descrisă în *FEMA 356*.

$$\zeta_{eq} = \frac{E_D}{4 \cdot \pi \cdot E_S} \quad (2)$$

Relația de mai sus rezultată din egalarea energiei disipate într-un ciclu de oscilație complet de către structura reală cu cea a unui sistem vâscos echivalent.

E_D este energia disipată de dispozitive într-un ciclu de oscilație și se calculează ca suma lucrurilor mecanice efectuate de fiecare dispozitiv în parte în acel ciclu.

$$E_D = \sum_j \frac{2 \cdot \pi^2}{T} \cdot c_j \cdot \delta_{rel,j}^2, \text{ unde:} \quad (3)$$

T – perioada modului fundamental pe direcția analizată;

c_j – constanta disipatorului liniar-vâscos “j”. Coeficienții disipatorilor se scriu $c_j = c_0 \cdot k_j$, unde c_0 este o valoare de referință și k_j sunt coeficienți aleși de proiectant. În acest caz, considerând prelucrările din [Trevor Kelly et al.], li se atribuie tuturor coeficienților k_j valoare 1.

Dacă acceptăm o deformată liniară a structurii, deplasările laterale δ_i sunt proporționale cu cotele de nivel z_i , adică

$$\delta_i = \beta \cdot z_i \quad (4)$$

$\delta_{REL,j}$ – deplasarea relativă între capetele disipatorului “j”.

$$\delta_{rel,j} = (z_{sup,j} - z_{inf,j}) \cdot \beta \cdot \cos \alpha_j \quad (5)$$

$z_{sup,j}, z_{inf,j}$ - cotele nivelelor între care este fixat disipatorul "j".

α_j - este cosinusul director al axei dispozitivului "j" cu direcția de calcul.

E_S este energia potențială maximă de deformare:

$$E_S = \frac{1}{2} \cdot \sum_i F_i \cdot \delta_i \quad (6)$$

$F_i = m_i \cdot a_i$ – forța de inerție la nivelul planșeului "i", unde m_i este masa nivelului "i", iar " a_i " este accelerația nivelului "i".

$$a_i = \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot \delta_i \quad (7)$$

Factorul de proporționalitate β și amortizarea echivalentă rezultă astfel:

$$\xi_{eq} = \frac{\frac{2 \cdot \pi^2}{T} \cdot \sum_j \left(c_0 \cdot k_j \cdot \left((z_{sup,j} - z_{inf,j})^2 \cdot \cos^2 \alpha_j \right) \right)}{4 \cdot \pi \cdot \sum_i \left(\frac{1}{2} \cdot \left(m_i \cdot \frac{4 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot z_i \right) \cdot z_i \right)} = 0.2 \Rightarrow c_0 = 19041 \frac{kN \cdot s}{m} \quad (8)$$

4.2. Structură cu disipatori de energie prin frecare (Varianta 3)

În cea de-a doua variantă structurală alternativă, sistemul este echipat cu disipatori de energie prin frecare. Ansamblul alcătuit din disipator și suportul acestuia are aceeași rigiditate axială cu contravântuirea omoloagă din varianta 1. Poziția disipatorilor este similară cu poziția contravântuirilor. În acest fel identitatea sistemului dinamic rămâne neschimbată, iar nivelul de solicitare al elementelor structurii este același cu cel din varianta 1, deci secțiunile rămân și în acest caz neschimbate.

Pentru proiectarea amortizorilor cu frecare se va utiliza, deasemenea documentul *FEMA 356*. Într-o primă aproximație, forțele la care disipatorii de energie prin frecare se activează, vor fi determinate din condiția ca amortizarea vâscoasă echivalentă suplimentară să fie egală cu 20 % din nivelul critic.

$$\xi_{eff} = \underbrace{\xi_0}_{0.05} + \frac{\sum_j W_j}{\underbrace{4 \cdot \pi \cdot W_k}_{0.2}} = 0.25 \quad (9)$$

$W_k = \frac{1}{2} \cdot \sum_i F_i \cdot \delta_i$ - energia potențială maximă de deformare într-un ciclu complet de oscilație. Se acceptă și

aici tipul de deformată descris de (4). Forțele de inerție de nivel vor fi $F_i = \frac{G_i \cdot z_i}{\sum_i G_i \cdot z_i} \cdot S_{COD}$.

W_j - este lucrul mecanic efectuat de dispozitivul "j" într-un ciclu complet de oscilație.

$$\sum_j W_j = \sum_j 4 \cdot F_j \cdot \delta_{rel,j} = 4 \cdot \sum_j F_j \cdot (z_{sup,j} - z_{inf,j}) \cdot \beta \cdot \cos \alpha_j \quad (11)$$

Forțele la care dispozitivele cu frecare se activează sunt $F_j = k_j \cdot F_0$, unde k_j sunt coeficienți aleși de proiectant.

În acest caz k_j au valori proporționale cu forțele axiale critice ale contravântuirilor centrice din varianta 1, adică: $1 / 0.85 / 0.76 / 0.39$ pentru disipatorii de la nivelele $1 - 4 / 5 - 6 / 7 - 8 / 9 - 10 / 11 - 14$. Valoarea F_0 rezultă după cum urmează:

$$\beta_{eff} = 0.25 = 0.05 + \frac{4 \cdot F_0 \cdot \sum_j (k_j \cdot (z_{sup,j} - z_{inf,j}) \cdot \cos \alpha_j)}{4 \cdot \pi \cdot \sum_i \left(\frac{1}{2} \cdot F_i \cdot z_i \right)} \Rightarrow F_0 = 207 \text{ kN} . \quad (12)$$

În urma unor analize dinamic-nelineare efectuate pentru sistemul cu disipatori de energie prin frecare, s-a constatat că acest nivel al forțelor de activare a disipatorilor este insuficient pentru ca elementele structurale să rămână în domeniul elastic de solicitare. Din acest motiv au fost propuse forțe de activare mai apropiate de valorile forțelor axiale critice ale diagonalelor: $621 \text{ kN} / 575 \text{ kN} / 471 \text{ kN} / 240 \text{ kN}$ pentru disipatorii de la nivelele $1 - 4 / 5 - 6 / 7 - 8 / 9 - 10 / 11 - 14$.

4.3. Structură cu disipatori de energie prin frecare și liniar-vâscoși (Varianta 4)

În cel de-al treilea sistem structural alternativ, în două dintre panouri, contravântuirile sunt înlocuite cu disipatori de energie prin frecare, iar în celelalte două, cu disipatori de energie liniar-vâscoși. Exact ca și în cazul variantei 2, secțiunile elementelor structurale corespunzătoare variantei 4 rămân neschimbate. În urma efectuării unor analize dinamic-nelineare s-a stabilit că forțele la care disipatorii de energie prin frecare se activează sunt cele corespunzătoare variantei 3, iar coeficienții de vâscozitate ai disipatorilor vâscoși sunt cei corespunzători variantei 2. Deasemenea modul de dispunere a disipatorilor vâscoși este cel din varianta 2.

5. REZULTATE OBTINUTE

Unele rezultate ale testelor numerice efectuate pentru cele patru variante structurale sunt prezentate mai departe. În figura 6 este prezentată comparativ curba efort axial – deformație pentru una dintre contravântuirile centrice de la nivelul 5, în variantele 1 și 2. Pe figură sunt marcate orientativ pragurile de avariere din *FEMA 356* pentru elemente cu secțiune inelară solicitate axial.

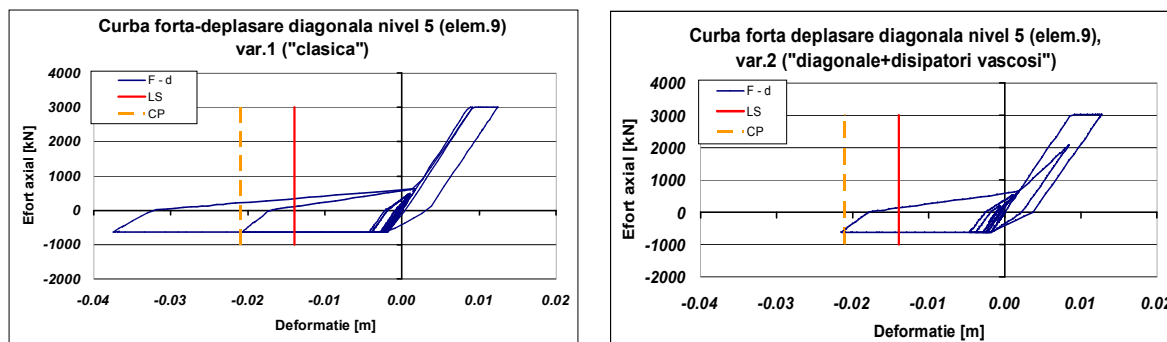


Figura 6 – Curba efort axial-deformație pentru una dintre diagonalele de la nivelul 5, în variantele 1 și 2

În figurile 7 ÷ 10 este reprezentată variația în timp a deplasării la vârful structurii, accelerația absolută la vârf, forța tăietoare de bază și deplasarea relativă de la nivelul 5 (cea mai mare de pe înălțimea construcției, în toate cele 4 variante de sisteme structurale). În tabelul 4 sunt prezentate maximele mărimilor de răspuns anterior menționate. Reducerea răspunsului în cazul variantelor 2 ÷ 4, în raport cu varianta 1 sunt evidente. Astfel, se constată reduceri semnificative ale accelerației absolute la vârf cu 41% și chiar 67% în varianta varianta 4. Deplasările relative de nivel au reduceri mai puțin spectaculoase – maxim 36% în cazul variantei 4. Deasemenea, forța tăietoare de bază maximă în cazul variantelor 3 și 4, este redusă la aproximativ jumătate din valoarea corespunzătoare variantei 1.

Tabel 4 – Maxime ale mărimilor de răspuns considerate

Maxime ale răspunsului - factor de scalare 1.2				
Marime de răspuns	Var.1	Var.2	Var.3	Var.4
Deplasare maxima varf [m]	0.586	0.430	0.445	0.383
Acc.abs.maxima varf [m/s ²]	8.20	4.80	4.88	2.67
Depl.relativa maxima nivel 5 [m]	0.064	0.040	0.053	0.041
Forta taietoare de baza [kN]	14413	11243	7204	7637
Nr. Articulatii plastice in grinzi	20	0	0	0

OBS: Nu s-au deschis articulatii plastice in stalpi

Maxime ale răspunsului - factor de scalare 1.6				
Marime de răspuns	Var.1	Var.2	Var.3	Var.4
Deplasare maxima varf [m]	0.735	0.523	0.638	0.520
Acc.abs.maxima varf [m/s ²]	9.70	5.76	6.77	3.40
Depl.relativa maxima nivel 5 [m]	0.080	0.050	0.069	0.053
Forta taietoare de baza [kN]	15420	12690	9356	9898
Nr. Articulatii plastice in grinzi	78	0	76	0

OBS: Nu s-au deschis articulatii plastice in stalpi

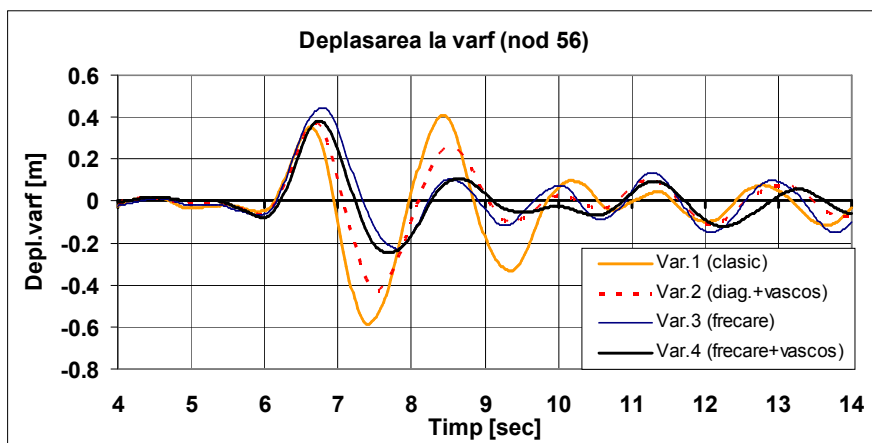


Figura 7 – Reprezentarea în timp a variației deplasării la vârful

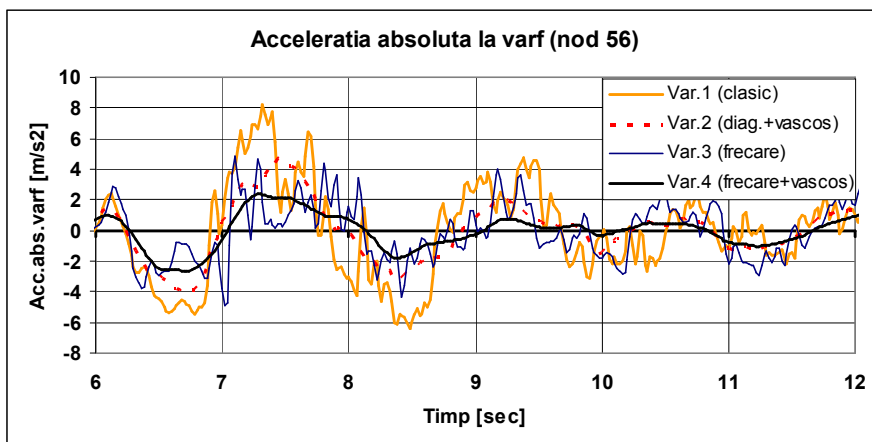


Figura 8 – Reprezentarea în timp a variației accelerației absolute la vârful

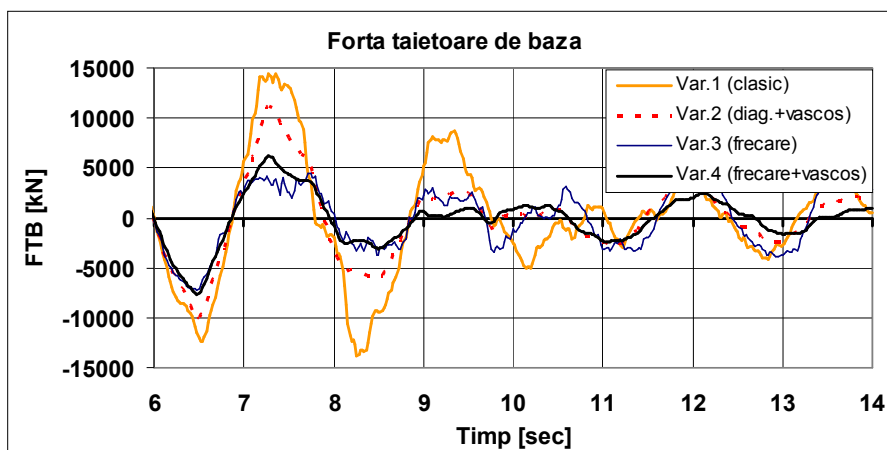


Figura 9 – Reprezentarea în timp a variației forței tăietoare de bază

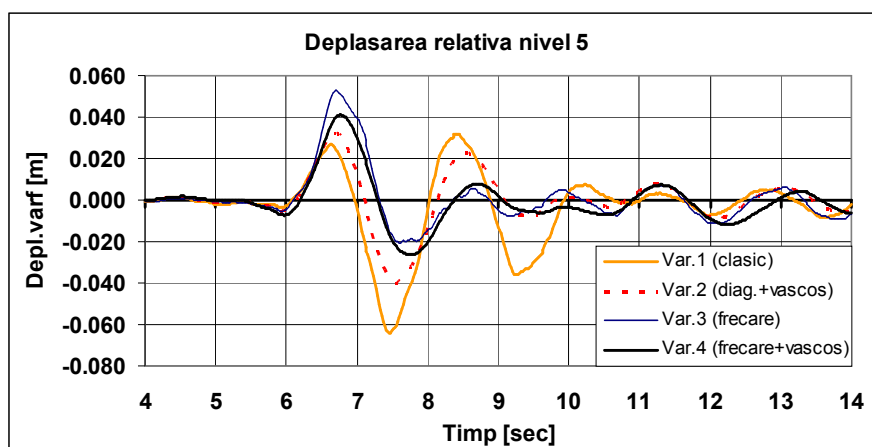


Figura 10 – Reprezentarea în timp a deplasării relative la nivelul 5

6. CONCLUZII

În vederea eliminării neajunsurilor utilizării contravântuirilor centrice la structurile multietajate amplasate în zone seismice, au fost investigate posibilități alternative de înlocuire a contravântuirilor cu dispozitive de disipare de energie liniar-vâscoase și prin frecare. Pentru analiză a fost utilizată o structură multietajată duală (cu contravântuiri centrice) dimensionată conform *P100-2006*, supusă unei excitații de tip accelerogramă (*Vrancea 1977, N-S, Incerc, București*) scalată cu un factor egal cu *1.2*. Suplimentar, au fost efectuate o serie de rulări cu o accelerogramă scalată cu un factor de *1.6*. Rezultatele obținute certifică eficiența utilizării disipatorilor de energie prin frecare și de tip vâscos. În cazul tuturor variantelor structurale alternative, pot fi observate reduceri semnificative ale mărimilor de răspuns considerate, în raport cu varianta clasică (varianta 1). Se poate observa deasemenea că în cazul utilizării accelerogramei scalate cu factorul *1.2*, elementele structurii în variantele 2 ÷ 4 (grinzi și stâlpi) rămân în domeniul elastic.

Pentru varianta 2 (structură cu contravântuiri centrice și disipatori vâscoși), deformațiile axiale ale contravântuirilor sunt semnificativ reduse, asigurându-se astfel o limitare a degradărilor.

Disipatorii de energie prin frecare (utilizați în variantele 3 și 4) prezintă avantaje importante în raport cu contravântuirile centrice: proprietățile de rigiditate și rezistență ale acestora pot fi setate în mod convenabil (eventual similare cu cele ale contravântuirilor centrice), fără să existe riscul voalărilor sau altor degradări locale. Totodată, li se poate asigura acestora o acordare diferențiată a cerințelor de rigiditate și forță în sistem.

Cea mai spectaculoasă îmbunătățire a răspunsului o are varianta 4 (structură cu disipatori de energie prin frecare și vâscoși). Complexitatea sistemului structural, dată de prezența în structură a două mecanisme diferite de disipare a energiei (histeretic și vâscos) impune ca dimensionarea dispozitivelor să se facă doar în concept dinamic (ca rezultat al unor seturi de analize dinamic-nelineare).

Îmbunătățirea răspunsului sistemului ca urmare a utilizării disipatorilor de energie vâscoși are un revers – într-un interval de timp restrâns din durata de manifestare a acțiunii seismice, forțele din disipatori au valori relativ mari (tabel 5). Aceasta conduce la necesitatea utilizării unor dispozitive de disipare de energie semi-active, cu forță limitată.

Tabel 5 – Forțe maxime disipatori vâscoși

	Factor scalare 1.2		Factor scalare 1.6	
	Var.2	Var.4	Var.2	Var.4
Forța maximă disipator liniar-vâscos [kN]	1564	1441	2248	1933

Majorarea accelerației maxime cu factorul de 1.6 conduce la deformații inadmisibile în contravântuirile sistemului clasic (de exemplu, la nivelul 5, $\Delta l_{\max}^{\text{comp}} = 0.063 \text{ m}$).

BIBLIOGRAFIE

- Digambar P. Mondkar, Graham H. Powell, ANSR II – Analysis of Nonlinear Structural Response Users Manual, *Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC-79/17, July 1979*, p. 45 – 46
- Brad J. Shabak, (April 2001), Behaviour of Square HSS Braces with End Connections under Reversed Cyclic Axial Loading, *Thesis Submitted to the Faculty of Graduate Students in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science, Department of Civil Engineering Calgary, Alberta April 2001*, p. 31 – 51, p. 60 – 213
- Charles E. Roeder, Egor P. Popov (1977), Inelastic Behavior of Eccentrically Braced Steel Frames Under Cyclic Loadings, *Earthquake Engineering Research Center, Report No. UBC/EERC-77/18, Appendix D*, p. 289 – 301
- CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, *Computers & Structures Inc. April 2009, Berkeley, California*, p. 257 – 263
- Dalban C., Dima Ș., Chesaru E., Șerbescu C., (1997), Construcții cu Structură Metalică, *Ed. Didactică și Pedagogică București*, Cap. 16, p. 649 – 670
- FEMA 356, (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, p. 5.1 – 5.54, p. 9.1 – 9.33.
- Helmut Kober, Ștefan Bețea, (2008), An Alternative Method for the Design of Concentrically Braced Frames, *Proceedings of Eurosteel 2008, Graz, Austria*, Vol. B, p.1425 – 1431
- Jun Jin, Sherif El-Tawil, (2003), Inelastic Cyclic Model for Steel Braces, *Journal of Engineering Mechanics, Vol.129, No.5, ASCE, May 1, 2003*, p. 548 – 557
- M. Pavel, Șt. Bețea, G. Vezeanu L Stanciu, (2007), Structural Control Systems for Base Isolated Buildings, *Thirty Years from the Romanian Earthquake of March 4, 1977, Bucharest Romania 1 – 3 March 2007*
- P100-2006, Normativ de proiectare seismică, Cap.3, Cap.4, p. 4.2 – 4.15, Cap.6, p. 6.1 – 6.10, p.6.16 – 6.20, Anexa A, p.5, Anexa D
- Trevor E. Kelly, In-Structure Damping and Energy Dissipation, *Design Guidelines, S.E. Holmes Consulting Group, 2001*, p. 21 – 30, p. 51 – 73