

UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI

Facultatea de Utilaj Tehnologic

TEZĂ DE DOCTORAT

rezumat

*Contribuții la optimizarea tipo-dimensională
a disipatorilor semi-activi de energie seismică
în construcții*

Doctorand

Ing. Cristian-Traian DICIANU

Conducător de doctorat

Prof. univ. dr. ing. Petre PĂTRUȚ

**BUCUREȘTI
2015**

1. STADIUL ACTUAL DE DEZVOLTARE AL SISTEMELOR DE DISIPARE A ENERGIEI SEISMICE ATAȘATE STRUCTURILOR DE REZISTENȚĂ ÎN CONSTRUCȚII

Cutremurele de pământ pot genera adevărate dezastre, acestea ducând, nu de puține ori, la pierderi de vieți omenești, distrugerii totale sau parțiale ale clădirilor sau ale altor lucrări aflate în raza de acțiune a seismului, precum și la pierderi economice de ordinul sutelor de milioane sau chiar a miliardelor de euro.

Pentru a evidenția urmările devastatoare pe care cutremurele le au asupra complexului economico-social, în Tab 1.1 sunt prezentate câteva date ale celor mai importante seisme petrecute în ultima perioadă de timp [1]:

Regiunea de producere a cutremurului	Data	Magnitudinea (scara Richter)	Pierderi de vieți omenești	Pierderi economice (miliarde €)
Sichuan, China	05.12.2008	7,9	87587	22
Sumatra, Indonesia	30.09.2009	7,5	1117	1
Haiti	12.01.2010	7	316000	11
Honshu, Japonia	11.03.2011	9	20896	180
Negros-Cebu, Filipine	06.02.2012	6,7	113	0,5

Tab 1.1 Cele mai importante seisme din ultimii ani [1],[2]

Din motive financiare [3], ar fi imposibilă dimensionarea clădirilor astfel încât să reziste fără urmări la eforturile orizontale introduse de cutremure. În același timp, aceste urmări trebuie să se încadreze între niște limite impuse astfel încât clădirea să nu reprezinte un pericol pentru cei care o folosesc sau pentru cei aflați în împrejurimile acesteia. [1]

De aceea, proiectanții acceptă o deteriorare reparabilă și controlată a clădirii, astfel încât, din punct de vedere geometric, structura de rezistență să nu se schimbe. [1]

S-au dezvoltat însă și o serie de sisteme de protecție a structurilor, în scopul de a controla, diminua sau chiar preveni efectele cutremurelor asupra acestora, principalul obiectiv fiind capacitatea de reflectare și de absorbție a energiei introdusă de încărcările dinamice ale cutremurelor. [1]

Este evident faptul că dispozitivele disipatoare de energie urmăresc îmbunătățirea comportării structurii, ca urmare a mișcării seismice, printr-o creștere a amortizării, necesară disipării energiei cinetice care apare în structură și a diminuării energiei disipate de structură prin deformații plastice, respectiv ca energia disipată prin sistemele de amortizare suplimentare să fie cât mai mare [4], (păstrarea clădirii în zona “deformațiilor elastice”).

Protecția structurilor de rezistență în construcții împotriva energiei introduse de seism, prin folosirea unor dispozitive atașate structurii, este acceptată și folosită în prezent din ce în ce mai mult ca o tehnică foarte eficientă, atât pentru construcțiile noi, cât și pentru consolidarea celor deja existente. [3]

În acest sens, în domeniul protecției seismice a clădirilor, au fost dezvoltate până în prezent o varietate de sisteme de protecție a structurilor, care pot fi clasificate în următoarele categorii importante de sisteme de disipare a energiei seismice, în funcție de strategia de control și de principalele sisteme de disipare asociate ale acestora:

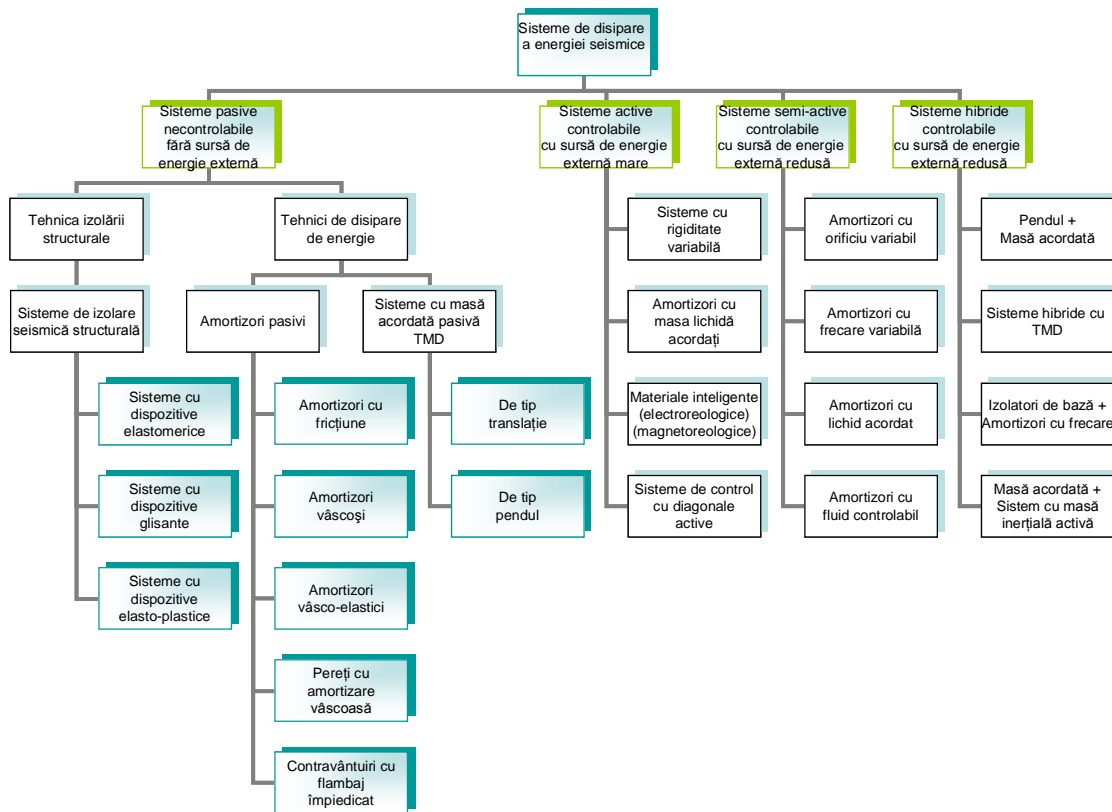


Fig 1.1 Strategiile de control ale structurilor și principalele sisteme de disipare asociate [6]

2. CERCETĂRI PRIVIND IMPLEMENTAREA UNOR LEGI CONSTITUTIVE DISIPATORILOR SEMI-ACTIVI

În vederea găsirii caracteristicilor optime ale sistemelor de disipare a energiei seismice, atașate structurilor de rezistență în construcții și, implicit, ale disipatorilor seismici semi-activi care fac parte integrantă din aceste sisteme, s-au realizat simulări amănunțite asupra a două structuri constructive reprezentative.

S-a căutat o lege de variație a forței disipative de forma:

$$F = f(t); \quad (2.1)$$

Legea definită de relația (2.1) este cea pe care s-a fundamentat determinarea algoritmilor de reglaj automat ai disipatorului semi-activ și cea după care au fost realizate simulările răspunsului acestui sistem [3], atât pentru structura din beton armat P + 8 cât și pentru structura metalică P + 25, după accelerogramele VRANCEA 77 N-S [30], respectiv NORTHRIDGE 94, SUA. [36]

Simulările au condus și la determinarea unei forme optime a coeficientului de amortizare C_0 , acesta având o formă de variație hiperbolică, pentru viteze mai mari decât $v_0 = \frac{F_{\max}}{C_0}$, cu o reglare automată a forței în tot domeniul de viteze $v > v_0$. [3]

De asemenea, rezultatele acestor simulări au facilitat determinarea sistemelor optime de dispunere a disipatorilor în structură, implementarea unor legi constitutive ale disipatorilor seismici semi-activi însoțite de elaborarea unor procedee de optimizare a amortizării pentru diverse tipuri de structuri constructive și chiar măsurile constructive locale care trebuie luate în vederea consolidării zonelor de integrare a acestor disipatori la construcție.

Structura P + 8E, de a cărei dimensionare s-a ocupat colectivul Catedrei de Beton Armat din cadrul UTCB, a fost subdimensionată intenționat cu un coeficient seismic $c = 5\%$, față de un coeficient seismic acceptabil $c = 7,66\%$, în vederea suplinirii capacității disipative a structurii având atașați disipatori semi-activi. [3]

În timpul simulărilor efectuate asupra structurii subdimensionate s-au atins valori ale deplasărilor inacceptabile pentru o structură aflată în exploatare, așa cum se poate vedea și din diagrama din Fig 2.4., astfel:

Pentru perioade de vibrație de aproximativ 1,1 secunde pe ambele direcții, calculul dinamic nelinier (accelerograma Vrancea 77 N-S [30]), cu o amortizare

naturală de 5% din cea critică, arată o comportare inacceptabilă a structurii [3] și anume:

- driftul relativ la parter este de 0,025, depășind de peste 7 ori valoarea admisibilă;
- deplasările la vârf sunt de aproximativ 35 cm;
- deplasarea remanentă la vârf este de aproximativ 17 cm.

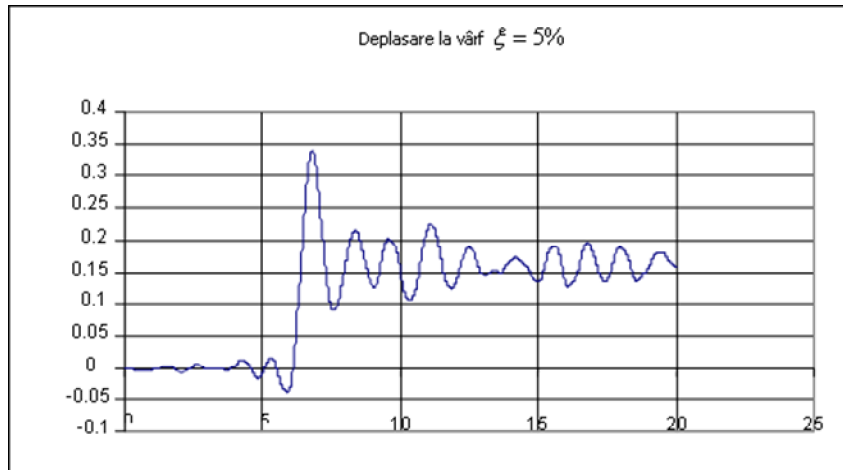


Fig 2.4 Deplasare la vârf structură P + 8 [3]

S-a repetat simularea incluzând, de această dată, și efectul disipatorilor semi-activi. În această situație, în Fig 2.5, pentru o amortizare totală de 30%, s-au constatat următoarele valori, care pot fi considerate relativ acceptabile: [3]

- deplasările la vârf sunt de aproximativ 17 cm, se observă o reducere la jumătate a acestora față de situația anterioară;
- deplasarea remanentă la vârf este de 2 cm.

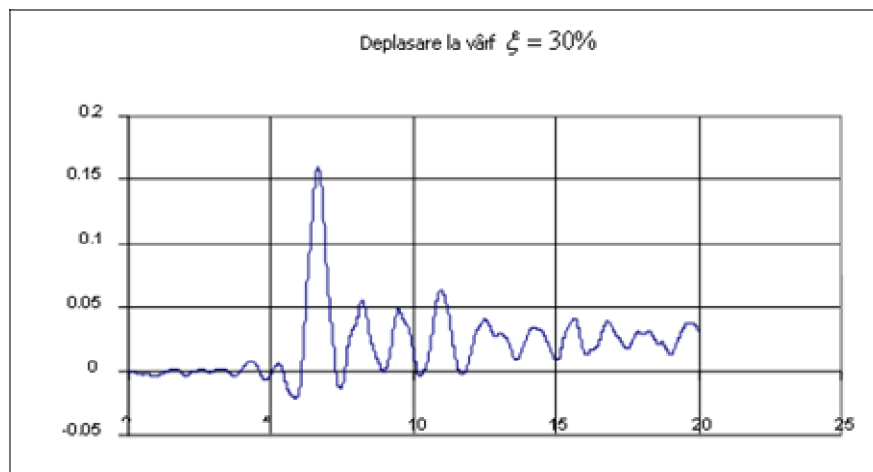
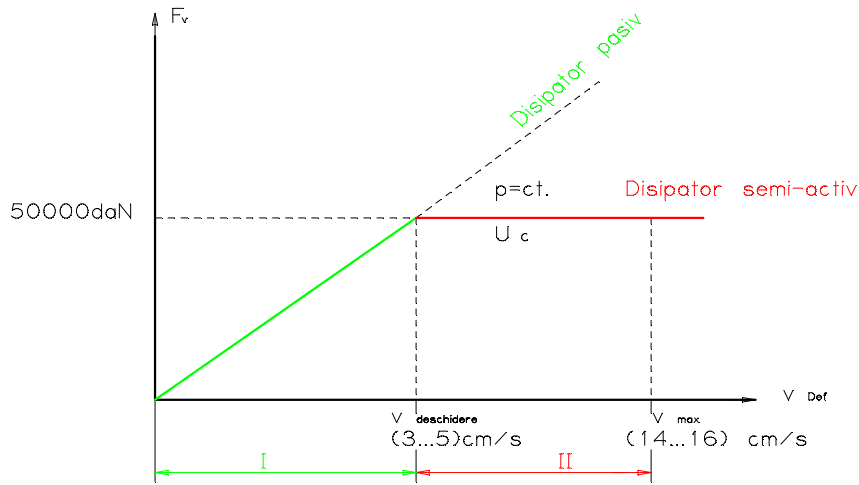


Fig 2.5 Deplasare la vârf structură P + 8 [3]

S-a determinat legea de reglaj a sistemului disipativ semi-activ, care se regăsește în diagrama din Fig 3.2:

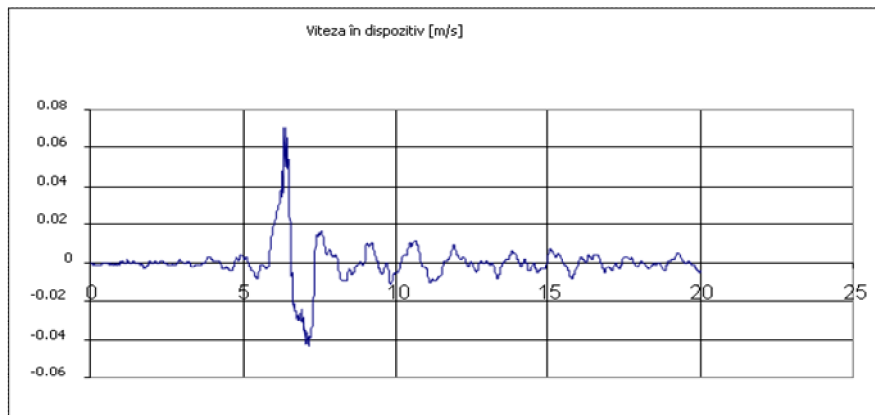


Conform Fig 3.2, legea de reglaj prezintă două zone:

Zona I este zona în care sistemul reglează doar oscilațiile structurii produse de microseisme sau vânt, în această zonă forța vâscoasă se realizează prin efectul rezistiv al fantei cilindrice a pistonului disipatorului DSA, iar distribuitorul proporțional DP rămâne închis; [3],[44]

Zona II este zona în care sistemul reacționează la oscilațiile produse de cutremure majore, în această zonă se activează bucla de reglaj, distribuitorul DP se deschide și acționează în paralel cu fanta circulară a pistonului disipatorului DSA. [3],[44]

În aceste condiții, diagrama vitezei în dispozitiv are caracteristici care reies din Fig 2.18:



Se evidențiază trei zone distincte:

Zona 1, în intervalul de timp $t = (0..6)$ secunde, zonă în care viteza maximă atinsă în disipator este mai mică decât viteza de deschidere, $v_{\max} < v_{\text{deschidere}}$ și are valoarea $v_{1_{\max}} = 1 \left[\frac{cm}{s} \right]$; În această zonă funcționează doar fanta rezistivă a disipatorului DSA.

Zona 2, în intervalul de timp $t = (6..8)$ secunde, în care viteza maximă atinsă în disipator $v_{\max} > v_{\text{deschidere}}$, având două maxime pentru $v_{\max_{21}} = 7 \left[\frac{cm}{s} \right]$ și $v_{\max_{22}} = 5 \left[\frac{cm}{s} \right]$; În această zonă funcționează întreg sistemul disipator-distribuitor.

Zona 3, în intervalul $t > 8$ secunde, în care viteza maximă atinsă în disipator $v_{\max} < v_{\text{deschidere}}$ și are valoarea $v_{3_{\max}} = 1,8 \left[\frac{cm}{s} \right]$; În această ultimă zonă funcționează din nou numai disipatorul DSA.

3. CALCULUL PARAMETRILOR HIDRAULICI REZISTIVI AI ANSAMBLULUI CILINDRU-DISTRIBUITOR PROPORȚIONAL PRIN APLICAREA ANALOGIEI HIDRO-ELECTRICE

În situația în care în procesele de cercetare sau proiectare a sistemelor de disipare a energiei seismice este necesară elaborarea modelelor matematice liniarizate ale acestora, precum și ale sub-sistemelor ce le compun, respectiv ale ansamblului disipator-distribuitor proporțional, se aplică analogia hidro-electrică de calcul.

Aplicarea acestei analogii este recomandată atunci când căderile de presiune dintr-un circuit nu mai pot fi determinate cu relațiile uzuale din mecanica fluidelor. [40]

În cazul unor elemente hidrostactice în care curgerea este laminară, există o analogie între parametrii hidraulici și cei electrici [39], astfel încât presiunea p , sau căderea de presiune Δp , este analoagă cu tensiunea U , respectiv căderea de tensiune ΔU , iar debitul de lichid Q ce circulă prin conducte este analog intensității curentului I . [40]

Există însă și situații în care în circuitele sistemelor hidrostactice se află o serie de obstacole locale. În acest caz, în zona acestora, regimul de curgere

devine turbulent și nu se poate aplica direct analogia hidro-electrică de calcul deoarece căderea de presiune variază în funcție de pătratul debitului.

S-a găsit totuși posibilitatea de a aplica, chiar și în acest caz, regulile analogiei hidro-electrice, dar, pentru aceasta, se înlocuiește imaginar [40] obstacolul local printr-o conductă de lungime echivalentă, în care curgerea are loc în regim laminar, dar care introduce în circuit aceeași cădere de presiune ca și obstacolul local. [39]

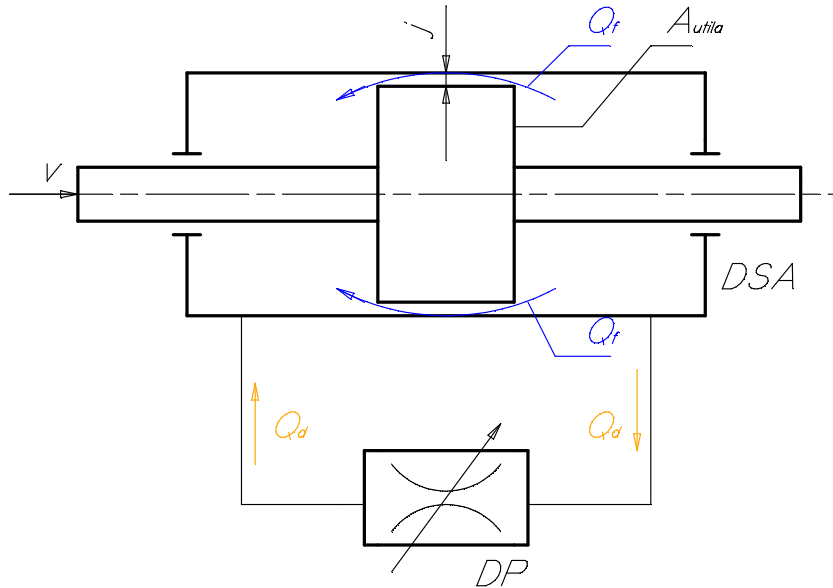


Fig 3.1 Schemă echivalentă ansamblu cilindru-distribuitor proporțional

Pentru a putea aplica principiile analogiei hidro-electrice asupra ansamblului cilindru disipator-distribuitor proporțional, se recurge la o schemă echivalentă, așa cum este prezentată în Fig 3.1, în care distribuitorul proporțional DP este conceput ca un drosel reglabil cu fantă rezistivă dreptunghiulară de dimensiuni $a \times l$, în care $a = ct$ iar $l = var$. [42]

Pistonul disipatorului DSA se realizează cu un joc radial j , generându-se astfel o fantă rezistivă în care curgerea este laminară.

Prin urmare, în momentul în care pistonul începe să se deplaseze cu o viteză v , debitul Q generat de suprafața A_{utila} a acestuia este obligat să traverseze în sens invers rezistența fantei dintre piston și cilindru (Q_f) a disipatorului DSA și, respectiv, prin distribuitorul proporțional DP (Q_d), a cărei rezistență hidraulică locală este reglată automat electronic după o lege impusă.

În aceste condiții, apar două fante disipative cu rezistențe hidraulice locale R_f , asociată disipatorului DSA și, respectiv, R_d , asociată distribuitorului proporțional DP.

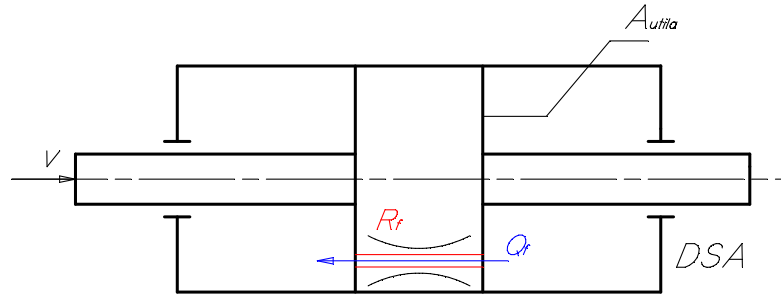


Fig 3.4 Schemă modelare a fantei rezistive a disipatorului [42]

Rezistența hidraulică neregabilă R_f , dată de fanta circulară dintre piston și cilindru, se calculează având în vedere faptul că, datorită dimensiunilor reduse ale acesteia, regimul de curgere prin această fantă din jurul pistonului este de tip laminar.

Conform formulelor teoriei curgerii prin fante plane [39], în acest caz:

$$Q_f = \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{v \cdot \rho} \cdot \frac{l \cdot e^3}{L} \cdot \Delta p \quad (3.1)$$

Dar, în cazul fantelor circulare:

$$l = \pi \cdot D \quad (3.2)$$

$$e = j \quad (3.3)$$

Conform analogiei hidro-electrice:

$$\Delta p = R_f \cdot Q_f \Rightarrow R_f = \frac{\Delta p}{Q_f} \quad (3.7)$$

În aceste condiții, rezultă:

$$R_f = \frac{96 \cdot v \cdot \rho \cdot L}{\pi \cdot D \cdot j^3} \quad (3.8)$$

Expresia (3.8) reprezintă formula rezistenței hidraulice echivalente a disipatorului DSA.

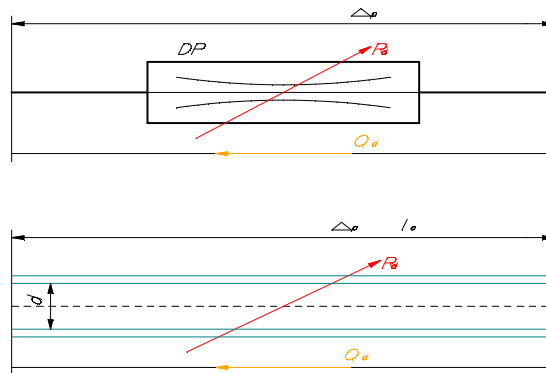


Fig 3.5 Conducta circulară echivalentă a distribuitorului DP [42]

Pentru că în distribuitorul proporțional DP, curgerea se desfășoară în regim turbulent, rezistența hidraulică echivalentă R_d se va calcula considerând o conductă circulară rectilinie de diametru interior d constant și lungime echivalentă l_e care introduce în circuit aceeași cădere de presiune Δ_p , dar în care regimul de curgere este laminar [40],[42], Fig 3.5 ilustrând acest lucru.

Căderea de presiune pe droselul reglabil este definită [39] de relația:

$$\Delta p = p_t = \frac{Q_d^2 \cdot \rho}{2 \cdot C_D^2 \cdot S_d^2} \quad (3.9)$$

Căderea de presiune pe conducta echivalentă este:

$$\Delta p = p_t = \frac{0,069 \cdot \nu \cdot \gamma \cdot l_e}{d^4} \cdot Q_d \quad (3.11)$$

Conform principiilor analogiei hidro-electrice de calcul:

$$\Delta p = R_d \cdot Q_d \quad (3.12)$$

Din (3.11) și (3.12), rezultă:

$$R_d = \frac{0,069 \cdot \nu \cdot \gamma \cdot l_e}{d^4} \quad (3.13)$$

Expresia lungimii echivalente devine:

$$l_e = \frac{\rho \cdot d^4}{2 \cdot C_D^2 \cdot 0,069 \cdot \nu \cdot \gamma} \cdot \frac{Q_d}{S_d^2} \quad (3.16)$$

Înlocuind (3.16) în (3.13), se obține:

$$\boxed{R_d = \frac{\rho}{2 \cdot C_D^2} \cdot \frac{Q_d}{S_d^2}} \quad (3.17)$$

Expresia (3.17) reprezintă formula rezistenței hidraulice echivalente a distribuitorului proporțional DP.

Rezistențele hidraulice echivalente din cadrul ansamblului cilindru-distribuitor proporțional acționează în paralel, vezi Fig 3.1, în aceste condiții:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_d} \quad (3.18)$$

Deci:

$$\boxed{R_t = \frac{R_f \cdot R_d}{R_f + R_d}} \quad (3.19)$$

Expresia (3.19) reprezintă formula rezistenței hidraulice echivalente totale a ansamblului cilindru dissipator DSA-distribuitor proporțional DP.

În urma înlocuirilor dimensionale ce s-au făcut în formulele calculate anterior, au rezultat următoarele valori numerice pentru rezistențele hidraulice echivalente, astfel:

$$R_f = 0,297 \left[\frac{daN \cdot s}{cm^5} \right] \quad (3.25)$$

$$R_d = 0,00457 \left[\frac{daN \cdot s}{cm^5} \right] \quad (3.33)$$

$$R_t = 0,00450 \left[\frac{daN \cdot s}{cm^5} \right] \quad (3.34)$$

4. EFECTE TERMICE ALE PROCESELOR DE DISIPARE FLUIDICĂ A ENERGIEI SEISMICE, EVOLUȚII ALE MEDIULUI HIDRAULIC

În cadrul proceselor de disipare fluidică a energiei seismice, transmiterea energiei hidraulice are, ca și una dintre consecințe, generarea de pierderi prin frecare. Aceste pierderi de energie prin frecare se transformă în căldură, care este, la rândul său, preluată de lichidul de lucru.

Se știe că încălzirea lichidului utilizat ca mediu hidraulic conduce la modificarea vâscozității acestuia, fapt care poate cauza alterarea performanțelor de lucru ale sistemului.

Se poate afirma că, în mod general, orice cădere de presiune de la o valoare p_1 la o valoare mai mică p_2 atrage după sine degajarea unei cantități de căldură, în condițiile în care acest proces nu este însoțit și de o variație a energiei cinetice a lichidului de lucru din sistem. [39]

În aceste condiții, în timpul proiectării unui sistem de acționare hidraulică, pentru asigurarea unor condiții optime de funcționare a acestuia, trebuie evaluat cu atenție bilanțul termic și, unde se impune, trebuie luate măsuri adecvate pentru menținerea temperaturii în limite acceptabile, prin folosirea de soluții optime pentru evacuarea căldurii din sistem. [39]

Pentru domeniul I de lucru al legii de reglaj, domeniu în care funcționează numai disipatorul DSA, iar pierderile de energie sunt generate prin frecarea fluidului hidraulic în fanta rezistivă a acestuia, se poate realiza o schemă a rezistenței echivalente a acestui disipator, schemă care se regăsește în Fig 4.2:

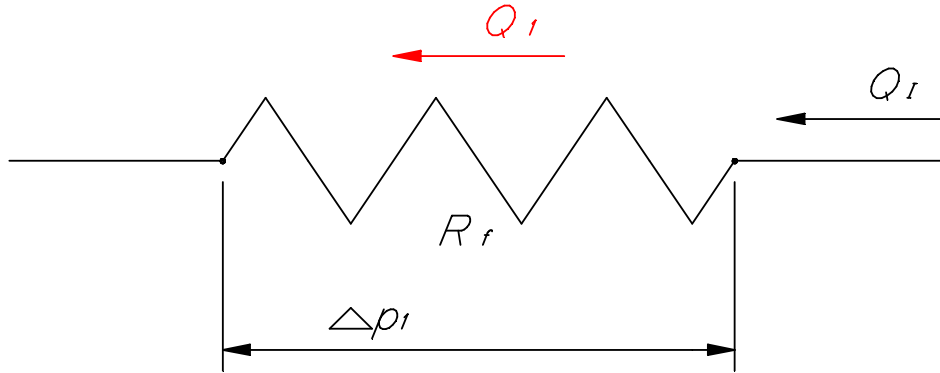


Fig 4.2 Schema rezistenței echivalente a disipatorului DSA

Puterea disipată prin frecare în fanta rezistivă a disipatorului, care se transformă în căldură, este [39]:

$$P_f = \Delta p_1 \cdot Q_1 \quad (4.4)$$

Dar:

$$P_f = C \cdot \rho \cdot Q_1 \cdot \Delta T_l \quad (4.5)$$

În aceste condiții, rezultă:

$$\Delta T_l = \frac{R_f \cdot v_{med} \cdot A_{utila\ piston}}{C \cdot \rho} \quad (4.9)$$

Relația (4.9) reprezintă formula de calcul a valorii variației de temperatură a lichidului de lucru cauzată de căldura generată în frecarea din fanta rezistivă a disipatorului DSA.

De observat că, datorită faptului că fenomenele termice care se desfășoară în interiorul disipatorului sunt foarte rapide, se poate aproxima că această căldură este preluată în integralitate de lichidul de lucru.

Domeniul II de lucru aparține cazurilor în care oscilațiile clădirii sunt cauzate de seisme de intensitate medie sau mare, în acest domeniu funcționând întreg ansamblul rezistiv, reglat automat prin distribuitorul DP, care este asociat rezistențelor hidraulice nereglabile ale pistoanelor disipatorilor DSA. [3]

În aceste condiții, diagrama rezistențelor echivalente ale ansamblului disipator-distribuitor proporțional, așa cum se regăsește în Fig 3.1, este reprezentată în Fig 4.3:

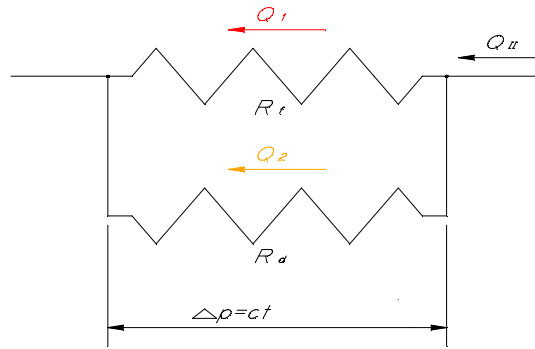


Fig 4.3 Schema rezistenței echivalente a ansamblului disipator-distribuitor proporțional

Puterea disipată pe o semi-sinusoidă a diagramei de variație a vitezei în sistem, Fig 2.18, este, pentru disipatorul DSA:

$$P_f = \Delta p \cdot Q_1 \quad (4.21)$$

De asemenea, puterea disipată pe o semi-sinusoidă a diagramei de variație a vitezei în sistem este, pentru distribuitorul DP:

$$P_d = \Delta p \cdot Q_2 \quad (4.22)$$

Puterea totală disipată este:

$$P_t = P_f + P_d \quad (4.23)$$

Din (4.21), (4.22), (4.23) rezultă:

$$P_t = P_f + P_d = Q_1 \cdot \Delta p + Q_2 \cdot \Delta p = \Delta p \cdot (Q_1 + Q_2) \Rightarrow P_t = Q_{II} \cdot \Delta p \quad (4.24)$$

Dar:

$$P_t = C \cdot \rho \cdot Q_{II} \cdot \Delta T_{II} \quad (4.25)$$

Din (4.25):

$$\boxed{\Delta T_{II} = \frac{P_t}{C \cdot \rho \cdot Q_{II}}} \quad (4.26)$$

Relația (4.26) reprezintă formula de calcul a valorii încălzirii totale a lichidului de lucru pentru o semi-sinusoidă, generată de puterea disipată prin frecarea din fanta rezistivă a disipatorului și din distribuitorul proporțional.

Plecând de la legea de variație a vitezei din disipator și ținând cont de cele trei zone distincte ale acesteia, reprezentate în diagrama din Fig 2.18, se poate determina expresia numerică a încălzirii totale, ΔT_{total} , a lichidului hidraulic din sistemul de disipare a energiei seismice:

Zona 1 prezintă 12 semi-sinusoide:

$$\boxed{\Delta T_{total} = 17,52 \text{ [}^\circ\text{C]}} \quad (4.32)$$

Zona 3 prezintă 21 de semi-sinusoide:

$$\Delta T_{3_{total}} = 56,24 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.36)$$

Pentru zona 2, zonă în care funcționează întreg ansamblul disipativ, încălzirea pentru o primă semi-sinusoidă este:

$$\Delta T_{21} = 17,8 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.45)$$

Încălzirea pentru o a doua semi-sinusoidă este:

$$\Delta T_{22} = 17,794 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.54)$$

Dar, datorită faptului că procesul de disipare este foarte rapid, nu există timp pentru schimb de căldură între sistem și mediu, în aceste condiții:

$$\Delta T_{total} = \Delta T_{1_{total}} + \Delta T_{3_{total}} + \Delta T_{21} + \Delta T_{22} \quad (4.55)$$

Se obține pentru încălzirea totală valoarea:

$$\Delta T_{total} = 109,35 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.56)$$

Temperatura mediului în care funcționează sistemul de disipare a energiei seismice este, de regulă, temperatura mediului ambiant în incinte închise, adică:

$$T_0 = 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.57)$$

În aceste condiții, temperatura maximă la care ajunge lichidul hidraulic, în urma procesului de disipare a energiei seismice în sistemul semi-activ este:

$$T_{lichid_{max}} = 129,35 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.58)$$

Ținând cont de temperatura la care ajunge lichidul de lucru în timpul procesului de disipare a energiei seismice, dar și de caracteristicile specifice ale diferitelor medii hidraulice, pentru sistemul semi-activ de disipare a energiei seismice analizat se va folosi un lichid siliconic, care are caracteristici de temperatură și vâscozitate superioare tuturor lichidelor utilizate ca medii hidraulice în mod curent.

5. STABILIREA STRUCTURII SISTEMULUI HIDRAULIC DE DISIPARE SEMI-ACTIVĂ A ENERGIEI SEISMICE ȘI ELABORAREA MODELELOR MATEMATICE ALE ACESTUIA

În urma simulărilor dinamice neliniare efectuate asupra structurii se poate afirma că, pentru fiecare etaj al acestei structuri, laturile paralele ale acesteia au un răspuns aproximativ identic.

De asemenea, pentru fiecare etaj se pot defini:

- accelerația de etaj;
- viteza de etaj;
- deplasarea de etaj.

De aceea, toți disipatorii semi-activi poziționați pe laturi paralele ale aceluiași etaj pot avea comandă unică.

În consecință, în cele ce urmează se vor analiza numai actuatorii aparținând unei singure laturi a etajului, urmând ca legea de reglare a acestora să fie generată de către constructor, în funcție de natura structurii.

Constructorul, în urma simulărilor dinamice la care supune structura, va alege numărul de actuatori necesari generării răspunsului dinamic adecvat și anume acela de a păstra structura în principal în domeniul elastic al deformării, în tot timpul desfășurării cutremurului. [44]

Se poate admite că viteza de deformație a clădirii în timpul unui seism prezintă o variație aproximativ sinusoidală, aceasta atingând valoarea maximă $v = v_{\max}$ atunci când clădirea trece prin poziția de echilibru și valoarea $v = 0$ atunci când clădirea atinge limita de deformație.

În cazul în care procesele de reglare automată sunt relativ lente, ca în situația proceselor de reglare a disipării energiei seismelor, cu perioade în jurul valorilor de 1 secundă, se poate aproxima și determina funcția de transfer a unui distribuitor cu comandă directă adecvată cazului studiat.

În același timp, faptul că legea de reglaj a sistemului impune pe intervalul II de lucru o cădere de presiune locală constantă pe distribuitorul DP, $\Delta p = ct.$, înlătură necesitatea liniarizării ecuației de curgere prin acest distribuitor!

De asemenea, echipamentele electronice fiind infinit mai rapide decât cele mecanice, comportamentul la transfer al celor dintâi se va lua în considerație numai prin factorii de amplificare K_e , respectiv mărimea de ieșire raportată la mărimea de intrare.

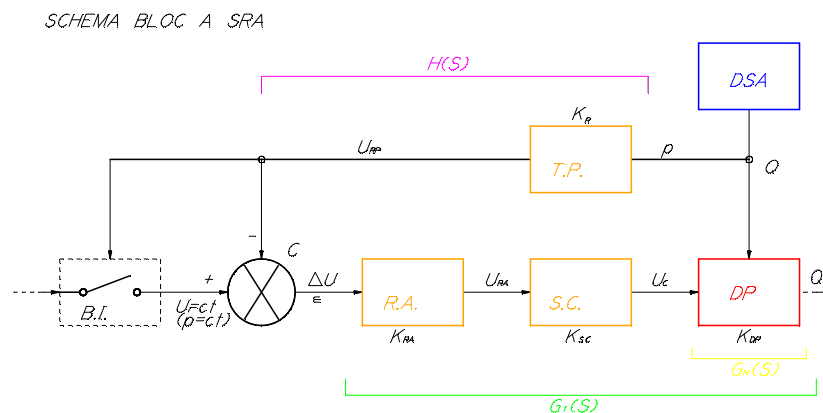
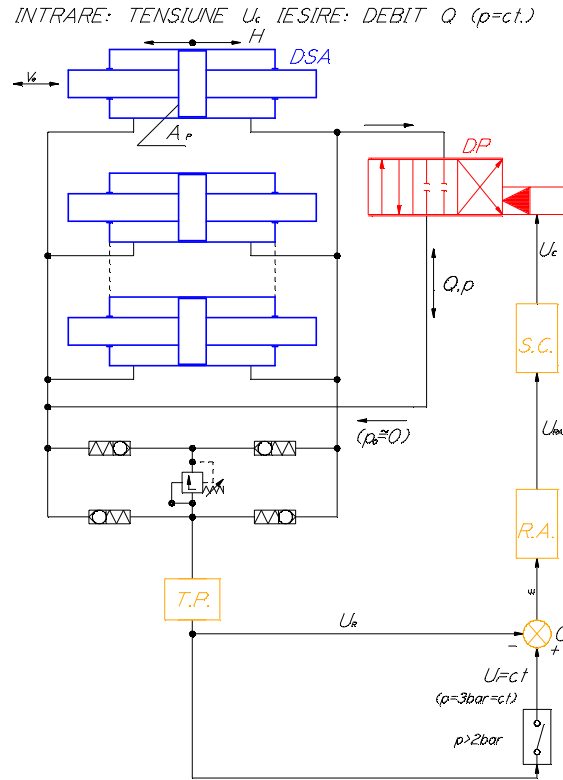


Fig 5.15 Schema bloc a sistemului de disipare a energiei seismice [44]



Atât în schema funcțională din Fig 5.14, cât și în schema bloc din Fig 5.15, sunt reprezentate principalele elemente constitutive ale sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice, astfel:

Pentru componentele electronice:

- C comparator;
- R.A. regulator automat;
- S.C. servocontroler (echipament electronic de comandă al distribuitorului proporțional);

Pentru componentele hidraulice ale sistemului:

- T.P. traductor de presiune;
- DSA disipator;
- DP distribuitor proporțional;

Se notează:

- K_{RA} factor de amplificare al regulatorului automat;
- K_{SC} factor de amplificare al servocontrolerului distribuitorului proporțional;
- K_R factor de amplificare al buclei de reacție;
- K_{DP} factor de amplificare al distribuitorului proporțional;

Pentru calculul funcției de transfer a ”părții hidraulice” a sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice, se pornește de la ecuația de curgere în paralel cu distribuitorul proporțional DP, adică a debitului în funcție de viteză.

Pentru a putea scrie ecuația de curgere prin distribuitorul proporțional DP se folosește ecuația de debit, considerând similitudinea muchiilor active cu puntea Wheastone [39], astfel:

$$Q = S_c \cdot C_D \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (5.5)$$

Însă, legea de reglaj a acestui sistem impune ca presiunea să rămână constantă, în aceste condiții:

$$Q(t) = K_{DP} \cdot y(t) \quad (5.11)$$

Ecuația de echilibru dinamic al forțelor care acționează asupra sertarului distribuitorului proporțional se poate scrie:

$$F_c = A_c \cdot \Delta p = m \cdot \ddot{y} + f \cdot \dot{y} + K_{EH} \cdot y \quad (5.13)$$

Neglijând, pentru procese relativ lente, dinamica sertarului de pilotare ce are o masă foarte mică:

$$F_c = A_c \cdot \Delta p = K \cdot U_c \quad (5.16)$$

Făcând înlocuirile ce se impun și aplicând transformata Laplace ecuației rezultate, se obține:

$$\boxed{G_H(S) = \frac{K \cdot K_{DP}}{m \cdot S^2 + f \cdot S + K_{EH}}} \quad (5.26)$$

Expresia (5.26) reprezintă funcția de transfer a ”părții hidraulice” a sistemului de disipare, respectiv funcția de transfer a distribuitorului proporțional DP.

Pornind de la expresia (5.26), se poate scrie funcția de transfer a sistemului în buclă închisă, ținând cont, în Fig 5.15, și de următoarele notații:

$G_1(S)$ funcția de transfer a căii directe a sistemului de reglare automată;

$H(S)$ funcția de transfer a căii de reacție a sistemului de reglare automată;

$$Y_0(S) = \frac{G_1(S)}{G_1(S) \cdot H(S) + 1} \quad (5.30)$$

Dar, funcția de transfer a căii directe a sistemului de reglare automată este:

$$G_1(S) = K_{RA} \cdot K_{SC} \cdot G_H(S) \quad (5.31)$$

Funcția de transfer a căii de reacție este:

$$H(S) = K_R \quad (5.32)$$

Înlocuind (5.31), (5.32) în (5.30):

$$Y_0(S) = \frac{G_1(S)}{G_1(S) \cdot H(S) + 1} \Rightarrow Y_0(S) = \frac{K_{RA} \cdot K_{SC} \cdot G_H(S)}{K_{RA} \cdot K_{SC} \cdot G_H(S) \cdot K_R + 1} \quad (5.33)$$

Relația (5.33) reprezintă funcția de transfer, în buclă închisă, a sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice.

În buclă deschisă, funcția de transfer a sistemului se scrie sub forma:

$$Y(S) = G_1(S) \cdot H(S) \quad (5.34)$$

Înlocuind (5.31), (5.32) în (5.34):

$$Y(S) = G_1(S) \cdot H(S) \Rightarrow Y(S) = K_{RA} \cdot K_{SC} \cdot K_R \cdot G_H(S) \quad (5.35)$$

Expresia (5.35) reprezintă funcția de transfer, în buclă deschisă, a sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice.

6. SIMULAREA NUMERICĂ A PROCESULUI DISIPATIV SEMI-ACTIV, ECHIPAT CU DISTRIBUITOARE HIDRAULICE PROPORȚIONALE

Conform principiilor criteriului ITAE, cum, în situația de față, frecvența proprie a sarcinii, adică a disipatorului atașat clădirii supuse acțiunii seismice, respectiv ω_{DSA} , este considerabil mai mică decât frecvența proprie a distribuitorului proporțional ω_{DP} , atunci se ia în calculul funcției de transfer a sistemului numai frecvența proprie a sarcinii și anume ω_{DSA} . [55]

Dar, în cazul de față, disipatorul este atașat rigid la construcție, astfel încât acesta nu poate avea decât pulsația proprie a structurii! [51]

În aceste condiții și $\omega_{DSA} \equiv \omega_C$.

Perioada de oscilație liberă a unei construcții este cuprinsă, de regulă, între 0,05 s și 3 s, în funcție de rigiditate, structură, înălțime etc. [56]:

$$T_C = (0,05 - 0,1) / etaj [s] \quad (6.128)$$

În cazul clădirii studiate, asupra căreia s-au efectuat analizele dinamice neliniare tratate în Capitolul 2, se poate considera că perioada de oscilație liberă a acesteia are valoarea:

$$T_C = 0,33 [s] \quad (6.129)$$

În această situație, se ia în calculul expresiei numerice a funcției de transfer a sistemului numai frecvența proprie a disipatorului, identică cu frecvența proprie a clădirii și anume ω_C .

Deci, factorul total de amplificare în buclă deschisă devine:

$$K_{T_{OPTIM}} = \frac{1}{3} \cdot \omega_C \quad (6.134)$$

În aceste condiții, pentru $K_{T_{OPTIM}} = K_T$:

$$\boxed{K_T = 6,36 \left[s^{-1} \right]} \quad (6.135)$$

Ținând cont de expresiile determinate ale funcțiilor de transfer ale sistemului de disipare semi-activ, după calculul constantelor acestora, formele numerice ale acelorși funcții devin:

$$Y(S)_{DN10} = \frac{6,36 \left[s^{-1} \right]}{50 \cdot 10^{-6} \left[\frac{daN \cdot s^2}{cm} \right] \cdot S^2 + 9,839 \cdot 10^{-3} \left[\frac{daN \cdot s}{cm} \right] \cdot S + 6,340 \left[\frac{daN}{cm} \right]} \quad (6.136)$$

Expresia (6.136) reprezintă forma numerică validă a funcției de transfer, în buclă deschisă, a sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice, având în componență un distribuitor proporțional DN 10.

$$Y(S)_{DN16} = \frac{6,36 \left[s^{-1} \right]}{125 \cdot 10^{-6} \left[\frac{daN \cdot s^2}{cm} \right] \cdot S^2 + 16,192 \cdot 10^{-3} \left[\frac{daN \cdot s}{cm} \right] \cdot S + 6,360 \left[\frac{daN}{cm} \right]} \quad (6.137)$$

Expresia (6.137) reprezintă forma numerică validă a funcției de transfer, în buclă deschisă, a sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice, având în componență un distribuitor proporțional DN 16.

$$Y(S)_{DN25} = \frac{6,36 \left[s^{-1} \right]}{310 \cdot 10^{-6} \left[\frac{daN \cdot s^2}{cm} \right] \cdot S^2 + 30,454 \cdot 10^{-3} \left[\frac{daN \cdot s}{cm} \right] \cdot S + 6,384 \left[\frac{daN}{cm} \right]} \quad (6.138)$$

Expresia (6.138) reprezintă forma numerică validă a funcției de transfer, în buclă deschisă, a sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice, având în componență un distribuitor proporțional DN 25.

Pentru determinarea răspunsurilor indiciale ale sistemelor semi-actve având în componență distribuitoarele proporționale DN 10, DN 16, respectiv DN 25, s-a utilizat programul Matlab-Simulink.

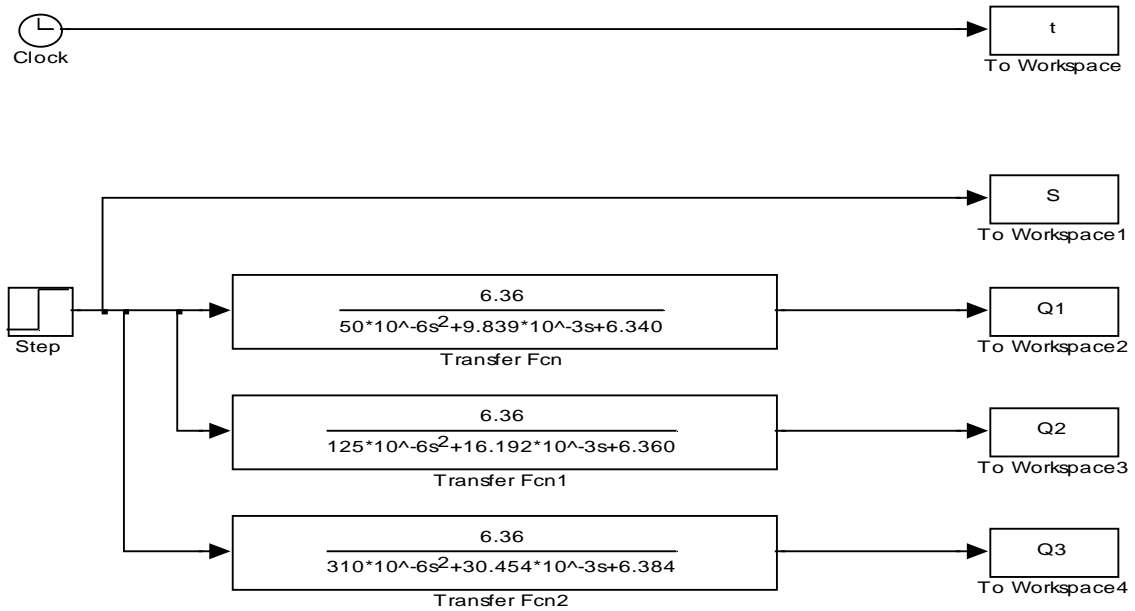


Fig 6.20 Schema comună de simulare a funcționării sistemelor având în componență DN 10, DN 16, DN 25

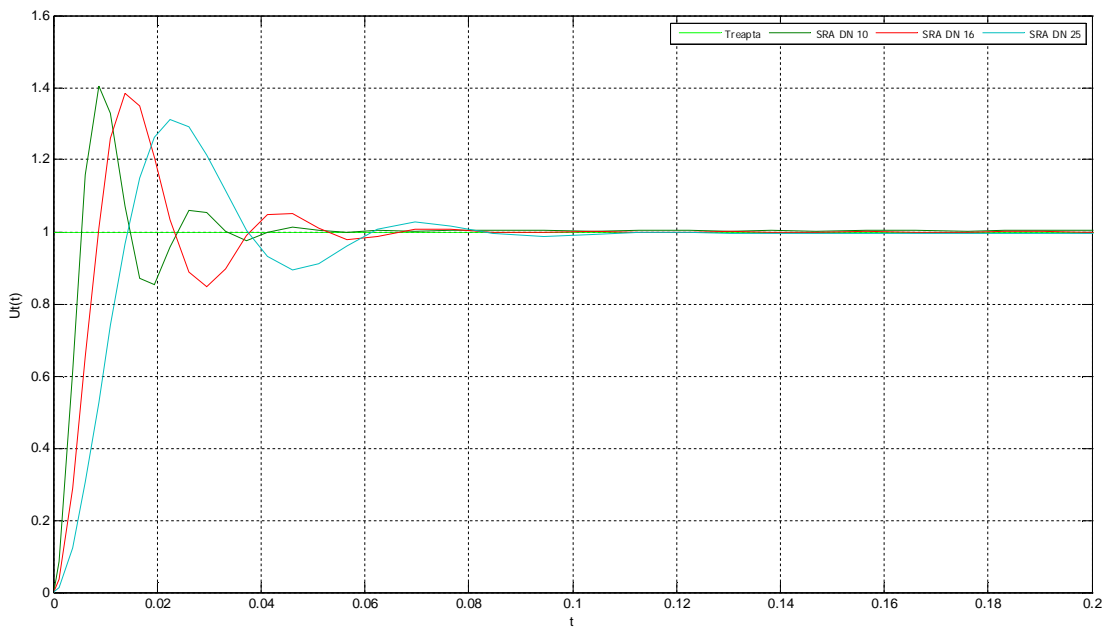


Fig 6.21 Răspunsurile indiciale suprapuse ale sistemelor având în componență DN 10, DN 16, DN 25

Din forma răspunsurilor indiciale ale tuturor celor trei sisteme de disipare, care se regăsesc suprapuse în Fig 6.21, se observă o variație a timpului de regim tranzitoriu de la aprox. 0,03 s pentru DN 10, la aprox. 0,07 s pentru DN 25, timpi perfect compatibili cu cei de desfășurare a procesului seismic.

Acordarea disipatorilor cu răspunsul dinamic al structurii, în zonele de interes pentru disiparea energiei seismice, se face, de regulă, de către specialistul constructor structurist.

Pornind de la aceste amplasamente și de la vitezele maxime de deformare ale structurii, specifice acestor amplasamente, se poate proceda, în acord cu specialistul structurist, la dimensionarea numărului de disipatori ce pot fi comandați simultan de către un singur distribuitor proporțional.

Făcând raportul dintre debitele maxime ale celor trei distribuitoare proporționale, extrase din catalogul Rexroth, pag 531 și debitul maxim al disipatorului, calculat în funcție de viteza maximă din dispozitiv, Fig 2.18, se dimensionează numărul maxim de disipatori ce pot fi comandați simultan de fiecare dintre cele trei tipuri de distribuitoare analizate, astfel:

Un distribuitor proporțional DN 10 poate comanda un singur disipator;

Un distribuitor proporțional DN 16 poate comanda maxim 3 disipatori;

Un distribuitor proporțional DN 25 poate comanda maxim 6 disipatori.

7. REVENDICĂRI

În urma analizelor dezvoltate în teza de doctorat având titlul “Contribuții la Optimizarea Tipo-dimensională a Disipatorilor Semi-activi de Energie Seismică în Construcții”, privitoare la stadiul actual de dezvoltare a sistemelor de disipare a energiei seismice, atașabile structurilor de rezistență ale construcțiilor, au fost realizate în mod original următoarele:

Analizarea unui disipator fluidic semi-activ capabil să fie atașat structurii de rezistență a clădirilor, în vederea disipării energiei seismice.

Analiza funcțională și elaborarea schemelor bloc ale sistemului electro-hidraulic al disipatorului semi-activ.

Elaborarea modelelor matematice de funcționare ale sistemelor semi-actieve de disipare a energiei seismice.

Analiza dinamică prin simulare numerică a funcționării sistemului semi-activ de disipare a energiei seismice în regim tranzitoriu.

Elaborarea unor bilanțuri termice care cuprind calculul energiei termice degajate în timpul seismului, precum și al regimului termic al mediului hidraulic al disipatorului semi-activ.

Determinarea numărului optim de disipatori ce pot fi comandați simultan de distribuitoarele proporționale DN 10, DN 16, respectiv DN 25.

8. CONCLUZII

Studiile efectuate în cadrul tezei de doctorat au permis obiectivizarea opțiunilor privind adaptarea la o clădire cu o structură de rezistență dată a unor disipatori fluidici semi-activi care pun în valoare avantaje esențiale față de disipatorii pasivi, după cum urmează:

Posibilitatea de a genera legi de variație a forței reactiv disipative specifice particularităților constructive și ale răspunsului dinamic dorit al clădirii.

Funcționarea disipatorilor semi-activi fără aport de energie de la rețeaua electrică de alimentare care, în timpul cutremurelor mari, de regulă se întrerupe.

Relativa simplitate constructivă a disipatorilor.

Posibilitatea de adaptare a răspunsului dinamic al clădirii, prin controlul automat al forței disipatorului semi-activ, în funcție de natura și particularitățile excitației acesteia, în mod special vibrații naturale, fronturi atmosferice de energie înaltă, precum și seisme minore, respectiv majore.

9. BIBLIOGRAFIE

- [1] Pătruț, P., Pavel, C., Crainic, L., Bețea, Șt., Tonciu, C., David, I., Zlăteanu, T., Petrescu, F., Rece, L., Dumitrache, I., Dumitriu, S., Catană, I., Costică, N., Constantin, N., Panduru, V., Spătaru, M., Universitatea Tehnică de Construcții București, Universitatea Politehnică București, - Sisteme autonome avansate pentru controlul oscilațiilor structurilor, Sistem de izolare seismică echipat cu disipatori fluidici semiactivi, CEEEX 2005, MEdC PC-D03-PT00-279, București, 2005;
- [2] US Geological Survey, www.usgs.gov, Dec. 2012;
- [3] Pătruț, P., Pavel, C., Crainic, L., Bețea, Șt., Tonciu, C., David, I., Zlăteanu, T., Petrescu, F., Rece, L., Dumitrache, I., Catană, I., Dumitriu, S., Costică, N., Panduru, V., Universitatea Tehnică de Construcții București, Universitatea Politehnică București - Sistem integrat de protecție a clădirilor la solicitări seismice, Grant 34926/2005, București, 2005;
- [4] Uang, C.M., Bertero, V.V., - Use of energy as a design criteria in earthquake resistant design, Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1988;
- [5] Frumosu, D.M., - Aspecte ale comportării la acțiuni seismice ale structurilor metalice multietajate în cadre contravântuite centric prevăzute cu amortizori și fără amortizori, Teză de doctorat - rezumat, București, 2011;
- [6] Dicianu, C.T., - Stadiul actual de implementare al sistemelor de disipare a energiei seismice, atașate structurilor de rezistență în construcții, Raport de cercetare, Universitatea Tehnică de Construcții București, București, 2013;
- [7] Pastia, C., - Implementarea sistemelor active și semiactive în structurile construcțiilor civile, Grant CNCSIS, 2004;
- [8] Ghindea, C.L., - Studiul unor metode de atenuarea acțiunii seismice asupra construcțiilor, Teză de doctorat – rezumat, București, 2008;
- [9] Naeim, F., - The seismic design handbook, Second edition, Springer science, 2001;
- [10] ***, - Seismic design for buildings, US Army Corps for engineers, www.Hnd.usace.army.mil/technoinfo/ti/809-04/ch8.pdf, 1998;
- [11] Calado, L., Proenca J.M., Pano, A., - Innovative materials and techniques for seismic protection, Prohitech, 2004, Vol. Earthquake protection of historical buildings by reversible mixed technologies, WP5_proj.no.INCO_CT_509119;

- [12] Pavel, M., - Sisteme de control al răspunsului la acțiuni seismice, Stadiul actual al problemei, Referat doctorat, București, 2008;
- [13] Aiken, I., - Passive energy disipation - hardware and applications, Proceedings, Los Angeles County and SEAOSC symposium on passive energy disipation systems for new and existing buildings, Los Angeles, 1996;
- [14] Nguyen, H.V., Lostuvali, B., Tommelein, I.D., - Decision analysis using virtual first-run study of viscous damping wall system, Proceedings for the 17th annual conference of the International Group for Lean Construction;
- [15] Alexa, P., Mociran, H., Mathe, A., - Concepte și tehnologii moderne în controlul comportării seismice a construcțiilor, AICPS Nr. 3-2005;
- [16] Parka, J., Minb, K., Chungb, L., Leec, S., Kimd, H., Moonb, B., - Equivalent linearization of a friction dumper brace system based on the probability distribution of the external displacement, Science direct, Elsevier, 2006;
- [17] Chandra, R., Masand, M., Nandi, S., Tripathi, C., Pall, R., Pall, A., - Friction-dampers for seismic control of La Gardenia Towers, Auckland, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000;
- [18] P100-3-2006 – Cod de evaluare și proiectare a lucrărilor de consolidare la clădiri existente, vulnerabile seismic, Vol 2 Consolidare, 2006;
- [19] Haiducu, A., - Sisteme moderne pentru atenuarea efectului acțiunii seismice la poduri de șosea, UTCB, București, 1997;
- [20] Soong, T.T., Constantinou, M.C., - Passive and active structural vibration control in civil engineering, Department of civil engineering State University of New York, Buffalo, Martie 1997;
- [21] Butterworth, J., - Ductile concentrically braced frames using slotted bolted joints, SESOC Journal, Vol 13, 2000;
- [22] Stematiu, D., Pătruț, P., - Sisteme autonome avansate pentru controlul oscilațiilor structurilor - SACOS, Universitatea Tehnică de Construcții București, UTCB - INFOSOC, București, 2006;
- [23] Pătruț, P., Note de curs;
- [24] Feng, Q., Shinozuka, M., - Use of a variable damper for hybrid control of bridge response under earthquake, Proc. US Nat. Workshop on Structural Control, University of Southern California, Los Angeles, CA, 1990;
- [25] Kawashima, K., - Manual for Meshin Design of Highway Bridges, 2nd U.S. - Japan Workshop on Earthquake Protective Systems for Bridges, Tsukuba, Japan, Dec 1992;

- [26] Symans, M.D., Constantinou, M.C., Taylor, D.P., Garjost, K.D., - Semi-active fluid viscous dampers for seismic response control, Proc. 1st World Conference Structural Control, FA 1, 1994;
- [27] Symans, M.D., Constantinou, M.C., - Seismic testing of a building structure with a semi-active fluid damper control system, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26-7, 1997;
- [28] Kurata, N., Kobori, T., Takahashi, M., Niwa, N., Midorikawa, H., - Actual seismic response controlled building with semi-active damper system, Earthq. Eng. Struct. D. 28, 1999;
- [29] Apperson, J., - CadStd Lite 3.7.0, Copyright 1985-2007, www.cadstd.com;
- [30] www.incerc2004.ro/accelelograme.htm;
- [31] www.roscience.com/help/phase2/webhelp/phase2_model/Seismic>Loading.htm;
- [32] Stoica, N., - Determinarea parametrilor acțiunii seismice, www.encyclopedia.org/articole/proiectare/structuri-din-beton-armat/aplicarea-codurilor-de-proiectare/determinarea-parametrilor-actiunii-seismice.html, 2014;
- [33] Munteanu, C., - Coeficient seismic 2, ro.scribd.com/doc/258543498/Coeficient-Seismic-2;
- [34] Postelnicu, T., - Cod de proiectare seismică P100, Partea I - P100-1/2006, Prevederi de proiectare pentru clădiri, Universitatea Tehnică de Construcții București, 2006, <https://danyarhitect.files.wordpress.com/2009/03/cod-de-proiectare-seismica-p100.pdf>;
- [35] Ieremia, M., Trăistaru, C., Gînju, S., - Influența amortizării vâscoase în analiza dinamică neliniară a unei structuri metalice multietajate, Cea de a IX-a Conferință Internațională de Construcții Metalice - ICMS 2000, Universitatea Politehnică Timișoara, secția 4 - Connections. Base isolation of structures and dissipation of the seismic energy, lucrarea 4.13, 19-22.10.2000, http://cfdp.utcb.ro/drmpt/rezmat/pdfs/ICMS_Ieremia2000.pdf;
- [36] Trifunac, M.D., Todorovska, M.I., Lee, V.W., - The Rinaldi Strong Motion Accelelogram of the Northridge, California Earthquake of 17 January 1994, Earthquake Spectra, Vol. 14, No. 1, February 1998, http://www.researchgate.net/publication/237970552_The_Rinaldi_Strong_Motion_Accelerogram_of_the_Northridge_California_Earthquake_of_17_January_1994;
- [37] Fema 356, www.fema.gov/media-library/assets/documents/757;

- [38] Shinozuka, M., Ghanem, R., - Use of variable dampers for earthquake protection of bridges, Proc. 2nd U.S.-Japan workshop on earthquake protective systems for bridges, Public Works Research Institute, pag. 507-516, Tsukuba Science City, Japan, December 1992;
- [39] Pătruț, P., Ionel, N., - Acționări hidraulice și automatizări, Editura Nausicaa, 1998;
- [40] Tonciu, C., David, I., - Acționări hidraulice și pneumatice, Editura Conspress, București, 1999;
- [41] Popovici, A. I., - Contribuții la studiul efectelor uzării asupra performanțelor sistemelor hidraulice de reglare automată, Teză de doctorat, București, 2012;
- [42] Pătruț, P., Pavel, C., Crainic, L., Bețea, Șt., Tonciu, C., David, I., Zlăteanu, T., Petrescu, F., Rece, L., Dumitrache, I., Catană, I., Dumitriu, S., Costică, N., Panduru, V., Universitatea Tehnică de Construcții București, Universitatea Politehnică București - Sistem integrat de protecție a clădirilor la solicitări seismice, Analiza cerințelor de disipare structurală și fluidică atașată, a energiei seismice: Elaborarea modelelor matematice și a algoritmilor/arhitecturilor de conducere automată a disipatorilor fluidici, Grant 33331/2004, București, Octombrie 2004;
- [43] *** - Hydraulik - Komponenten für Industrielle Anwendungen - Rexroth Bosch Group RD 00.112.03/03.03;
- [44] Dicianu, C.T., - Elaborarea modelelor matematice ale proceselor de disipare a energiei seismice în cadrul disipatoarelor semi-active utilizate în construcții, Raport de cercetare, Universitatea Tehnică de Construcții București, București, 2013;
- [45] www.shiva.pub.ro/PDF/TRA/ - Teorie și elemente de reglare automată, Note de curs;
- [46] Pătruț, P., - Influența dinamicii servosupapei asupra circuitului de reglare, Note de curs;
- [47] Catană, I., Panduru, V., - Conducerea inteligentă a sistemelor electrohidraulice, Construcție, Modelare, Control, Editura Printech, București, 2004;
- [48] Panduru, V., - Simularea numerică a proceselor dinamice, Note de curs;
- [49] *** - Matlab 5.1, User Guide, MathWorks, Natick, MA, 1998;
- [50] *** - Simulink 2.1, User Guide, MathWorks, Natick, MA, 1998;
- [51] Dicianu, C.T., - Simularea numerică a proceselor dinamice de disipare a energiei seismice în cadrul disipatoarelor semi-active, Raport de cercetare, Universitatea Tehnică de Construcții București, București, 2014;
- [52] Schmitt, A., - Hydraulik Trainer, G.L. Rexroth GmbH, Lohr am Main;

- [53] Lazăr, C., - Analiza SRA liniare, continue și monovariabile, Curs 2, www.aie.ugal.ro/isa/Curs/Curs_02_Prof_C_Lazar.pdf;
- [54] Voicu, M., - Introducere în automatică: suport de curs, Editura Conspress, București, 2013;
- [55] Dorr, H., Ewald, R., Hutter, J., Kretz, D., Liedhegener, F., Schmitt, A., - Hydraulik Trainer, Volumul 2, Tehnica supapelor proporționale și a servosupapelor, Manual de instruire și informare despre supapele proporționale și servosupape precum și componentele electronice utilizate în comenzi și în circuite de reglare, Mannesmann Rexroth GmbH, Lohr am Main, Reik, M., HYDAC GmbH, Sulzbach;
- [56] Pop, M., - Inginerie seismică, Curs, www.arhiconoradea.ro/Info%20Studenti/Note%20de%20curs/Marian%20Pop/Inginerie%20seismica%20Curs/pdf;
- [57] Ciobanu, N., - Sisteme de reglare automată, Material de predare - partea I, Material elaborat în cadrul proiectului Învățământul profesional și tehnic în domeniul TIC, proiect cofinanțat din Fondul Social European în cadrul POS DRU 2007-2013, 2009;
- [58] *** - MathType Lite Mode, Design Science (DSI), Long Beach, Ca., www.dessci.com;
- [59] *** - Der Hydrauliker, Hydraulik- und Elektronik- komponenten für Proportional- und Servo-Systeme, Mannesmann Rexroth GmbH, RD 29 003/6.86.

CUPRINS

1.	Stadiul actual de dezvoltare al sistemelor de disipare a energiei seismice atașate structurilor de rezistență în construcții	1
2.	Cercetări privind implementarea unor legi constitutive disipatorilor semi-activi	3
3.	Calculul parametrilor hidraulici rezistivi ai ansamblului cilindru-distribuitoare proporțional prin aplicarea analogiei hidro-electrice	6
4.	Efecte termice ale proceselor de disipare fluidică a energiei seismice, evoluții ale mediului hidraulic	10
5.	Stabilirea structurii sistemului hidraulic de disipare semi-activă a energiei seismice și elaborarea modelelor matematice ale acestuia	13
6.	Simularea numerică a procesului disipativ semi-activ, echipat cu distribuitoare hidraulice proporționale	17
7.	Revendicări	20
8.	Concluzii	21
9.	Bibliografie	22