



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI  
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI ȘI  
PROTECȚIEI SOCIALE  
AMPOSDRU



Fondul Social European  
POS DRU 2007-2013



Instrumente Structurale  
2007-2013



MINISTERUL  
EDUCAȚIEI  
CERCETĂRII  
TINERETULUI  
ȘI SPORTULUI  
OIPOSDRU



Universitatea Tehnică de Construcții  
București

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI**

**Facultatea de Construcții Civile Industriale și Agricole**

## **TEZĂ DE DOCTORAT**

*Atenuarea Răspunsului Seismic prin Folosirea  
Amortizoarelor Vâscoase*

**Doctorand**

*ing. Andrei Gh. Pricopie*

**Conducător de doctorat**

*prof.univ.dr.ing. Dan CREȚU*

**BUCUREȘTI**

**2012**

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI**

**Facultatea de Construcții Civile, Industriale și Agricole**

*Titularul prezentei teze de doctorat a beneficiat pe întreaga perioadă a studiilor universitare de doctorat de bursă atribuită prin proiectul strategic „Sprijin doctoral pentru doctoranzii în Ingineria Mediului Construit”, beneficiar UTCB, cod POS DRU/88/1.5/S/57351, proiect derulat în cadrul Programului Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane, finanțat din Fondurile Structurale Europene, din Bugetul Național și cofinanțat de către Universitatea Tehnică de Construcții București.*

# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**Rezumat**

*Atenuarea Răspunsului Seismic prin Folosirea  
Amortizoarelor Vâscoase*

**Doctorand**

*ing. Andrei Gh. Pricopie*

**Conducător de doctorat**

*prof.univ.dr.ing. Dan CREȚU*

**BUCUREȘTI**

**2012**

## Cuprins

Cap.I. Introducere .....	1
Cap.II. Amortizoare vâscoase .....	2
II.1. Studii și cercetare .....	2
II.2. Studii despre impactul amortizoarelor vâscoase asupra structurilor .....	3
II.3. Exemple de utilizare .....	4
II.4. Prevederi în coduri și metode de proiectare .....	4
Cap.III. Caracterizarea Hazardului Seismic în România .....	4
III.1. Caracteristicile mișcării 4 martie 1977 .....	4
III.2. Generarea Accelerogramelor .....	4
III.2.1. Metoda SIMQKE .....	5
III.2.2. Folosirea unei baze de date cu înregistrări seismice .....	5
III.2.3. Metoda SYNTH .....	6
III.2.4. Modificarea Accelerogramelor prin folosirea waveleților .....	6
III.3. Studii numerice .....	7
III.4. Concluzii .....	8
Cap.IV. Metoda de amplasare optimă a amortizoarelor vâscoase liniare .....	9
IV.1. Aspecte teoretice .....	9
IV.2. Definierea și rezolvarea problemei distribuției optime .....	10
IV.3. Modelarea Hazardului Seismic .....	14
IV.4. Influența interacțiunii teren structură asupra calculului distribuției optime .....	14
IV.5. Obținerea modelului condensat .....	15
Cap.V. Studii numerice .....	15
V.1. Prezentarea structurilor .....	16
V.1.1. Considerații privind proiectarea și modelarea clădirilor .....	16
V.1.2. Structura Beton Armat I (6 niveluri) .....	17
V.2. Concluzii și observații despre algoritmul de amplasare optimă .....	19
V.3. Analiza dinamica incrementală .....	20
V.4. Rezultatele analizelor dinamice neliniare .....	21
V.4.1. Rezultate pentru structura Beton Armat I (6 niveluri) .....	22
V.4.6. Rezultate pentru structura Metal III(15 niveluri) .....	25
V.5. Rezultatele analizei considerând interacțiunea teren structura .....	28

Cap.VI. Concluzii, contribuții și direcții viitoare de studiu.....	30
VI.1. Concluzii.....	30
VI.2. Contribuții personale .....	36
VI.3. Direcții viitoare de cercetare.....	37
Bibliografie Selectiva .....	37

## Cap.I. Introducere

---

Amortizoarele vâscoase sunt dispozitive de disipare pasivă a energiei. Prin introducerea lor în structura de rezistență a construcțiilor se disipă o cantitate de energie în timpul cutremurelor, care altfel ar trebui să fie preluată prin intermediul altor dispozitive sau prin incursiuni în domeniul postelastice. Studiile în domeniu relevă pentru structurile dotate cu amortizori vâscoși scăderi în termeni de deplasări. Cu toate acestea se observă și posibilitatea ca forțele transmise în elementele adiacente amortizorilor să ajungă la valori importante și în unele cazuri să producă colapsul structurii. De asemenea, se recomandă studii suplimentare în ceea ce privește folosirea amortizorilor vâscoși în cazul cutremurelor de tip puls Rodrigo și Romero [1], categorie din care fac parte și cutremurele Vrâncene.

Lucrarea prezintă și propune să realizeze un studiu despre posibilitatea folosirii amortizorilor vâscoși în proiectarea și consolidarea construcțiilor existente. Lucrarea este structurată în 6 capitole:

1. Lucrarea începe cu un capitol în care sunt descrise scopurile lucrării și structura acesteia.
2. În capitolul al doilea sunt descrise tipurile de amortizoare folosite în structurile de rezistență inventariind cele mai importante studii dar și exemple de utilizare;
3. În capitolul al treilea este caracterizat hazardul seismic din România. Tot în acest capitol se testează 6 metode de generare/modificare a accelerogramelor și se obține un set de 7 accelerograme compatibile cu cutremurul din 4 martie 1977;
4. În cel de-al patrulea capitol se prezintă o metodă de amplasare optimă a amortizoarelor liniar vâscoase în structura. Metoda presupune rezolvarea ecuației de mișcare în domeniul frecvențelor;
5. Capitolul cinci este cel în care se realizează studiile numerice. În prima parte a studiului se aplică algoritmul de amplasare optimă pentru o serie de 6 structuri cu diferite sisteme constructive și diferite niveluri de înălțime. În cea de-a doua parte pentru aceleași structuri se realizează, folosind setul de 7 accelerograme, o serie de analize dinamice incrementale. Scopul acestor analize este să demonstreze utilitatea algoritmului de amplasare optimă și măsura în care folosirea amortizorilor influențează răspunsul structurii;
6. În ultimul capitol sunt prezentate concluziile studiului, contribuțiile personale și direcțiile viitoare de cercetare.

În primul rând studiul discută o serie de metode consacrate de generare și modificare a accelerogramelor. Pentru fiecare metodă se generează un set de 7 accelerograme care sunt apoi folosite pentru realizarea unor analize dinamice neliniare pentru o structură de 6 niveluri. Rezultatele sunt comparate cu cutremurele înregistrate în termeni de deplasări, energie indusă structurii și energie disipată inelastice. Rezultatul este o serie de 7 accelerograme care modelează fidel cutremurul înregistrat în ceea ce privește deplasările, energia dar și caracterul de tip puls al cutremurului.

O altă problemă pe care o discută studiul este testarea unui algoritmul de amplasare optimă a amortizorilor vâscoși. Există o serie de studii despre amplasarea optimă a amortizorilor vâscoși în structura iar lucrarea de față folosește algoritmul propus de Takewaki [2]. Algoritmul ales rezolvă problema amplasării optime a amortizorilor vâscoși prin intermediul unei metode matematice, față de

alte algoritme care rezolvă problema realizând iterativ analize dinamice neliniare (Rodrigo și Romero [1]). Dezavantajul metodei îl constituie aplicabilitatea ei doar pentru domeniul liniar. Cu toate acestea, există studii limitate (Pricopie și Cretu [3], [4]) care indică posibilitatea extrapolării rezultatelor pentru domeniul neliniar. În lucrarea de față se aplică metoda de determinare a amplasării optime a amortizorilor unui număr de 6 structuri, reprezentative, cu diferite niveluri de înălțime și diferite sisteme constructive.

Odată determinate distribuțiile optime ale amortizoarelor vâscoase pentru domeniul liniar, acestea sunt testate prin intermediul unor analize dinamice incrementale în domeniul neliniar. Pentru fiecare structură se testează 3 modele, fără amortizoare, cu amortizoare distribuite uniform și cu amortizoare distribuite optim, folosind 7 accelerograme și un număr între 8-10 factori de scalare pentru fiecare accelerogramă. Rezultatele astfel obținute sunt procesate probabilist și prezentate. Acestea includ deplasări, forțe maxime în amortizori și forțe maxime în elementele structurii. De asemenea rezultatele conduc la determinarea unor curbe de fragilitate care evidențiază influența introducerii celor două distribuții de amortizori în structură.

### Cap.II. Amortizoare vâscoase

---

Amortizoarele vâscoase se delimitează de restul tipurilor de amortizoare prin faptul că disiparea se realizează cu ajutorul unui lichid și nu a unui solid, dar și prin faptul că forța dezvoltată în aceștia este în principal proporțională cu viteza de deformare între capetele amortizorului. Dintre amortizoarele pasive, cele vâscoase au fost se pare primele care au fost descoperite (1897), dar au început să fie folosite pentru construcții mai târziu.

#### II.1. Studii și cercetare

---

Amortizoarele cu fluid vâscos funcționează pe principiul curgerii unui lichid prin o serie de orificii. În 1992 și 1993 profesorul Constantinou a testat un model special de amortizor Taylor a cărei schemă este prezentată în Figura 1. Acesta este alcătuit dintr-un piston din oțel inoxidabil și umplut cu silicon. Forța din amortizor poate fi exprimată cu formula:

$$P = C \left| \dot{u} \right|^\alpha \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (1)$$

Unde  $\dot{u}$  este viteza  $C$  constanta de amortizare iar  $\alpha$  este un coeficient care variază între 0.35 și 2. În funcție de coeficientul  $\alpha$ , există amortizoare vâscoase liniare și neliniare. Amortizoarele vâscoase neliniare sunt preferate celor liniare deoarece forța pe care acestea o dezvoltă poate fi limitată prin valoarea coeficientului  $\alpha$ . Acestea au fost folosite în mai multe construcții dintre care probabil cea mai importantă este podul Golden Gate din San Francisco.

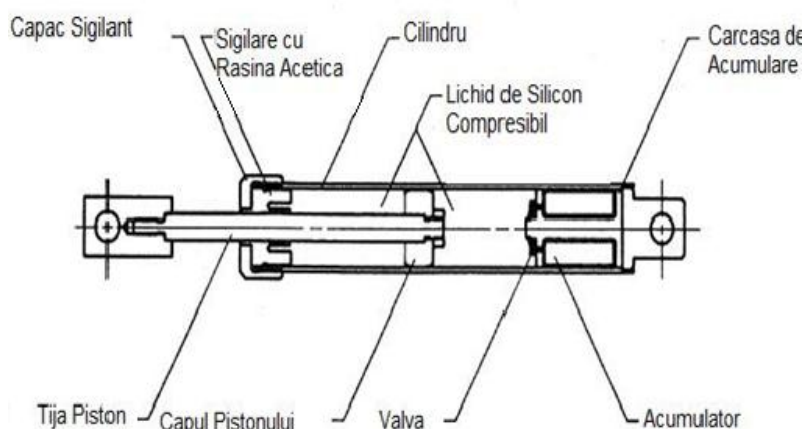


Figura 1 Schița amortizor vâscos Taylor (Soong si Dargush [5])

Pentru structurile de rezistență ale clădirilor civile una din primele aplicații a fost cea a pereților cu fluid vâscos. Aceștia au fost dezvoltati de Sumitomo Construction Company. În proiectul acestora, rolul pistonului este luat de o placa metalica care se mișcă într-un rezervor rectangular cu lichid vâscos. Rezervorul este legat de etajul inferior iar placa de etajul superior, mișcarea relativă dintre etaje producând disiparea de energie.

În general amortizoarele vâscoase nu influențează rigiditatea structurii. Există totuși amortizori care înglobează fie un elastomer fie lichid vâscos sub presiune care înainte de a disipa energie prin acțiunea lichidului vâscos, trebuie să învingă o forță prestabilită dată fie de elastomer fie de presiunea lichidului.

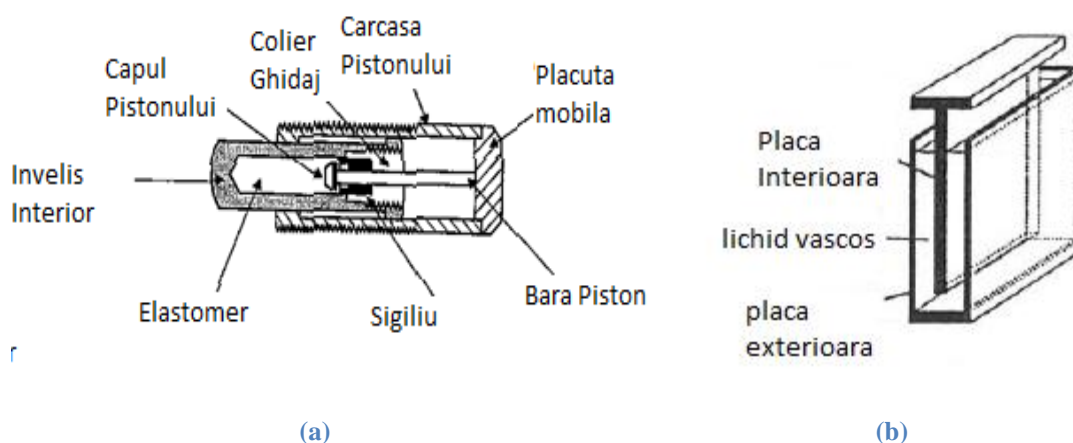


Figura 2 Amortizor vâscos cu elastomer (Pekan et al [6]); (b) Perete cu amortizare vâscoasa (Soong si Dargush [5])

## II.2. Studii despre impactul amortizoarelor vâscoase asupra structurilor

Un număr de experimente fizice și numerice au fost întreprinse pentru a demonstra eficiența amortizoarelor cu lichid vâscos pentru aplicații structurale. Rezultatele obținute pentru testele experimentale indica scăderi în deplasări și forța tăietoare de bază. Un studiu realizat de Reinhorn et al. [7] concluzionează că forțele transmise la fundații rămân aceleași iar în unele cazuri pot chiar să crească.





## III.2.1. Metoda SIMQKE

Una dintre metodele cele mai folosite de generare a accelerogramelor a fost dezvoltată de Dario A. Gasparini și Erik H Vanmarke [11] în 1976 la Massachusetts Institute of Technology. Programul generează mișcări pe baza unui spectru de putere. Dezavantajul principal al acestui tip de program este introducerea unei energii considerabil mai mari în structură decât cea reală. Acesta este o consecință a folosirii spectrului de proiectare pentru generarea accelerogramelor. Din cauza că spectrul de proiectare reprezintă un răspuns maxim care supraestimează acțiunea, cutremurele generate pe baza spectrului de cele mai multe ori introduc mai multă energie decât un cutremur real. Din această cauză se încearcă o metodă de generare pe un spectru redus. Spectrul redus este prezentat în Figura 4(b) și este obținut pe baza spectrului de proiectare. Pentru prima perioadă a structurii, spectrul redus are aceeași valoare ca și spectrul de proiectare. De asemenea, deoarece în timpul unui cutremur perioada structurii se modifică, există un palier pentru care spectrul redus are aceleași valori ca și spectrul de proiectare. Pentru restul spectrului, valorile acestuia sunt diminuate, din condiția ca aria de sub spectrul redus să fie egală cu cea a cutremurului înregistrat. Folosind acest algoritm se generează două seturi de câte 7 accelerograme un set folosind spectrul de proiectare și al doilea set folosind spectrul redus.

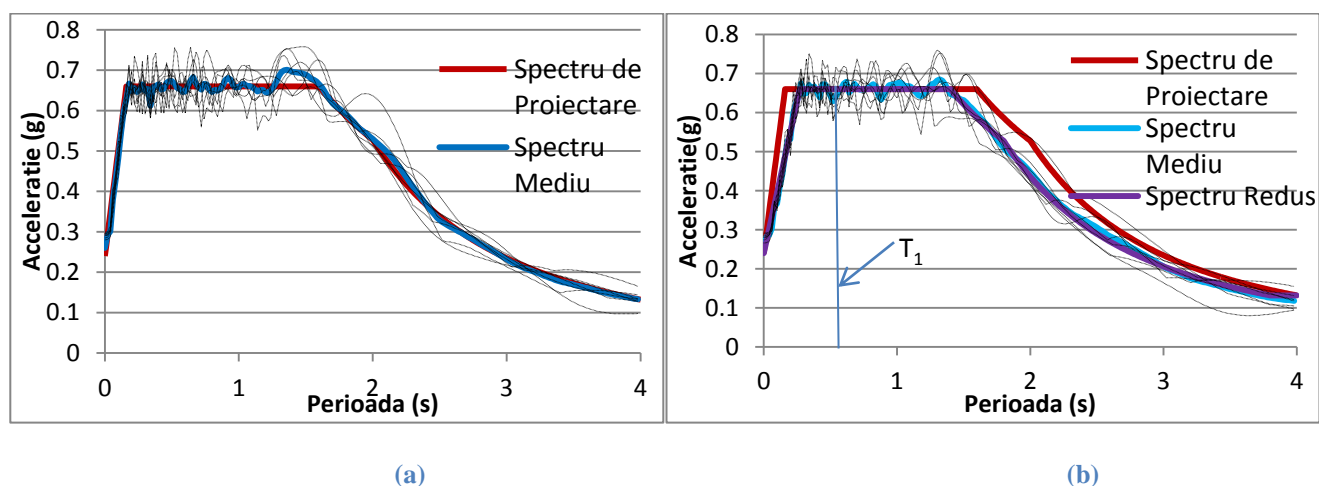


Figura 4 Spectrul de proiectare, Spectrul mediu și spectrele accelerogramelor generate (a) generare pe spectrul de proiectare, (b) generare pe spectrul redus

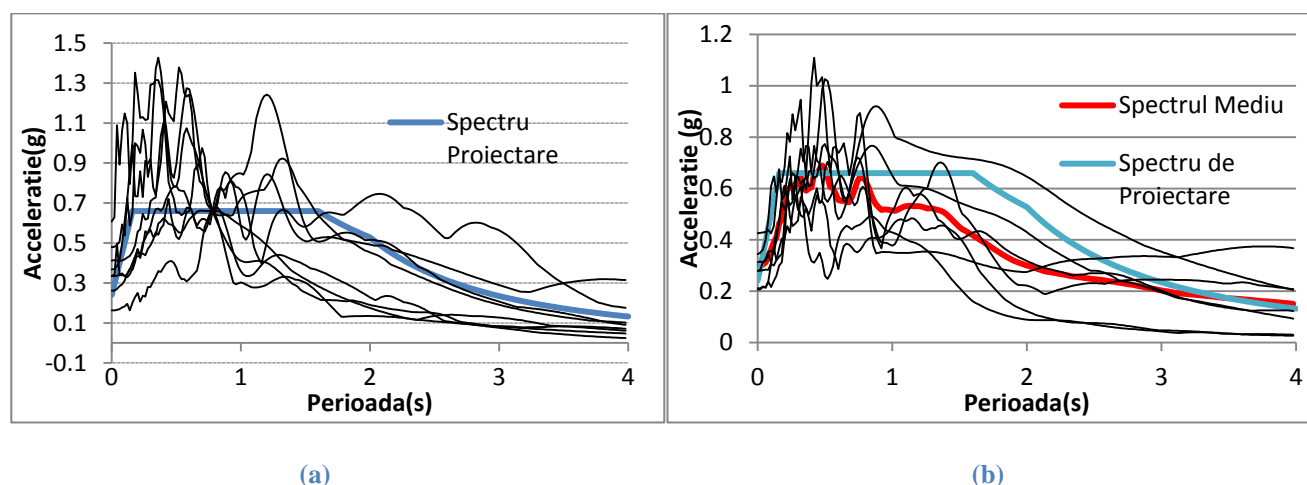
## III.2.2. Folosirea unei baze de date cu înregistrări seismice

O metodă facilă de a obține accelerograme este folosirea unei baze de date cu înregistrări seismice. Una din cele mai complete și gratuite baze de date este PEER Ground Motion Database. Raportul de cercetare a Ground Motion Selection and Modification Workgroup [12] evaluează 5 categorii de metode de alegere, modificare sau generare ale accelerogramelor. În lucrarea de față se folosesc două dintre aceste metode.

În primul rând, folosind baza de date sunt selectate accelerograme similare cu cutremurul înregistrat în termeni de  $R_{jb}=110$  km,  $v_{30}=320$ m/s ( $R_{jb}$ -distanța între situl investigat și proiecția la suprafața terenului a focarului  $v_{30}$ - viteza medie a undelor pe primii 30 de metri). De asemenea se vor prefera cutremure tip puls. Deoarece nu există suficiente înregistrări cu aceste caracteristici, a fost relaxată condiția ca  $R_{jb}=110$  km. Fiecare accelerograma din grupul obținut a fost scalată astfel încât pentru

prima perioada a structurii ( $Sa(T_1)$ ) spectrul de răspuns al accelerogramei sa fie egal cu spectrul de proiectare.

Pentru obținerea unui al doilea set de accelerograme se selectează din nou o serie de cutremure, dar de aceasta data scalarea se face astfel încât spectrul accelerogramei sa fie egal cu spectrul de proiectare pentru o gama de perioade (0.16s-2s). În figura 5 se prezintă spectrele accelerogramelor obținute folosind cele doua metode de modificare.



**Figura 5** Spectrul accelerogramelor pentru: a) metoda de scalare la  $Sa(T_1)$ ; b) metoda de scalare pentru perioadele (0.16s-2s)

Se observa ca exista o mica subestimare in ceea ce privește perioadele mai mari de 1 secunda pentru spectrul mediu in cazul scalarii pentru o gama de perioade. Acest fapt se datorează bazei de date care nu conține suficiente cutremure cu perioada predominanta mai mare ca 1 secunda, marea majoritate a cutremurelor fiind de tipul celor californiene.

### III.2.3. Metoda SYNTH

Metoda dezvoltată în algoritmul SYNTH, dezvoltat de Naumosky [13], este o metodă simplă de scalare a unei accelerograme existente pentru a se ajunge la un spectru țintă. Metoda apelează la modificarea frecvențelor mișcării pentru a aduce spectrul accelerogramei la spectrul țintă. Pentru fiecare perioada se calculează raportul între spectrul țintă ( $SP$ ) și spectrul accelerogramei ( $SPA$ ).

$$R(T_i) = SP(T_i) / SPA(T_i) \quad (2)$$

Cu acest raport se înmulțește transformata Fourier a accelerogramei, atât partea reala cât și cea imaginara. Aplicând transformarea inversa se ajunge la o accelerograma modificata. Iterând se ajunge la un spectru constant. Algoritmul este unul simplu dar prin aceasta scalare rezulta ca și în cazul metodei SIMQKE o supraestimare a energiei induse.

### III.2.4. Modificarea Accelerogramelor prin folosirea waveleților

Modificarea accelerogramelor folosind waveleții este implementata în programul de calcul Seismomatch [14]. Acest algoritm presupune modificarea unei accelerograme înregistrate, prin

adăugarea câte unui wavelet pentru fiecare sistem cu un singur grad de libertate, asigurând astfel compatibilitatea cu spectrul. În mod simplificat metoda de scalare este următoarea:

1. Calculul spectrului de răspuns pentru toate perioadele declarate în program;
2. Compararea accelerației maxime cu cea țintă și determinarea diferenței;
3. Adăugarea la accelerograma a unor waveleți cu amplitudini și faze corespunzătoare astfel încât răspunsurile maxime să fie conforme cu spectrul țintă.

Folosind aceasta metoda se modifica o serie de 7 accelerograme înregistrate. Spectrele lor sunt prezentate în Figura 6 (b).

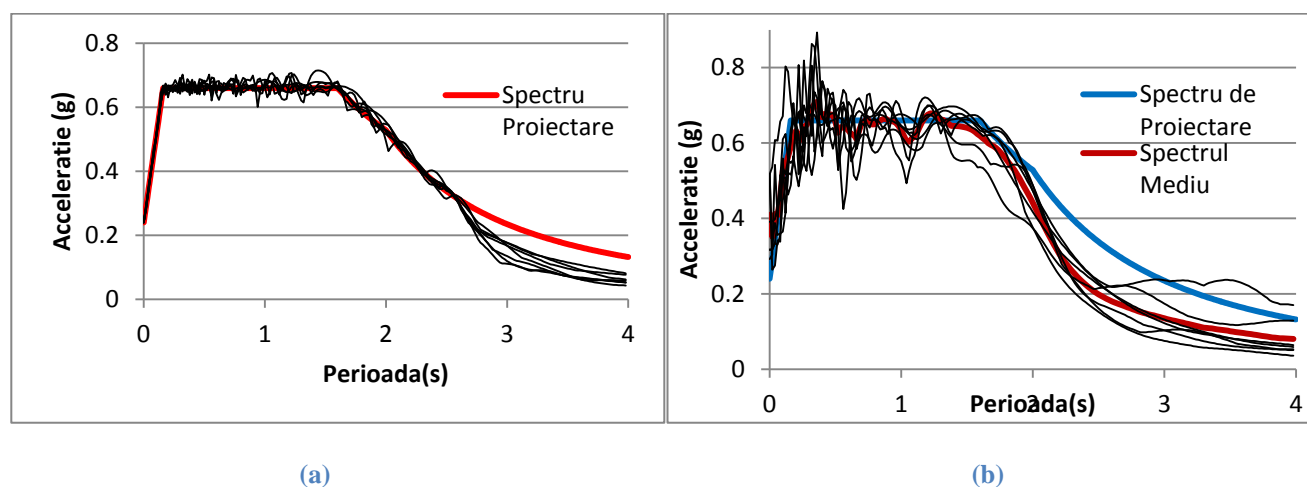


Figura 6 Spectrul accelerogramelor generate pentru (a) Metoda SYNTH; (b) Metoda Seismomatch

### III.3. Studii numerice

În acest capitol se realizează o serie de analize dinamice neliniare cu scopul de a stabili cel mai reprezentativ set de accelerograme. Folosind metodele discutate anterior se realizează 6 seturi de câte 7 accelerograme:

- 1) Accelerograme Generate (SIMQKE) pe spectrul de proiectare (7 înregistrări);
- 2) Accelerograme Generate (SIMQKE) pe spectrul redus (7 înregistrări);
- 3) Accelerograme înregistrate, selectate și scalate pentru  $S_a(T_1)$  (8 înregistrări);
- 4) Accelerograme înregistrate, selectate și scalate pentru spectrul de proiectare (7 înregistrări);
- 5) Accelerograme înregistrate, selectate și modificate folosind waveleți (Seismomatch) (7 înregistrări);
- 6) Accelerograme înregistrate, selectate și modificate folosind scalarea spectrului Fourier (Synth) (7 înregistrări);

Trebuie menționat că în afara metodelor SIMQKE (M1 și M2) restul metodelor sunt metode de modificare care păstrează într-o mare măsură caracterul tip puls al cutremurului. Acest aspect este foarte important din cauza că folosirea amortizorilor vâscoși pentru cutremure de tip puls poate pune probleme din cauza forțelor mari dezvoltate de amortizori. Aceste seturi de accelerograme sunt aplicate unei clădiri de 6 niveluri într-un studiu dinamic neliniar. Rezultatele în termeni de deplasări, energie indusă și energie disipată histeretic sunt comparate pentru cele 6 seturi de accelerograme

## III.4. Concluzii

Se observă că cele mai apropiate rezultate în ceea ce privește driftul mediu sunt cele obținute folosind Seismomatch. În ceea ce privește deplasările aceeași metodă produce cele mai bune rezultate. Setul astfel obținut de accelerograme este folosit pentru toate studiile dinamice neliniare ulterioare. Trebuie menționat că accelerogramele modificate cu această metodă păstrează caracterul de tip puls caracteristic cutremurului înregistrat. În Figura 7 se prezintă driftul total maxim și energia disipată inelastic pentru fiecare accelerograma.

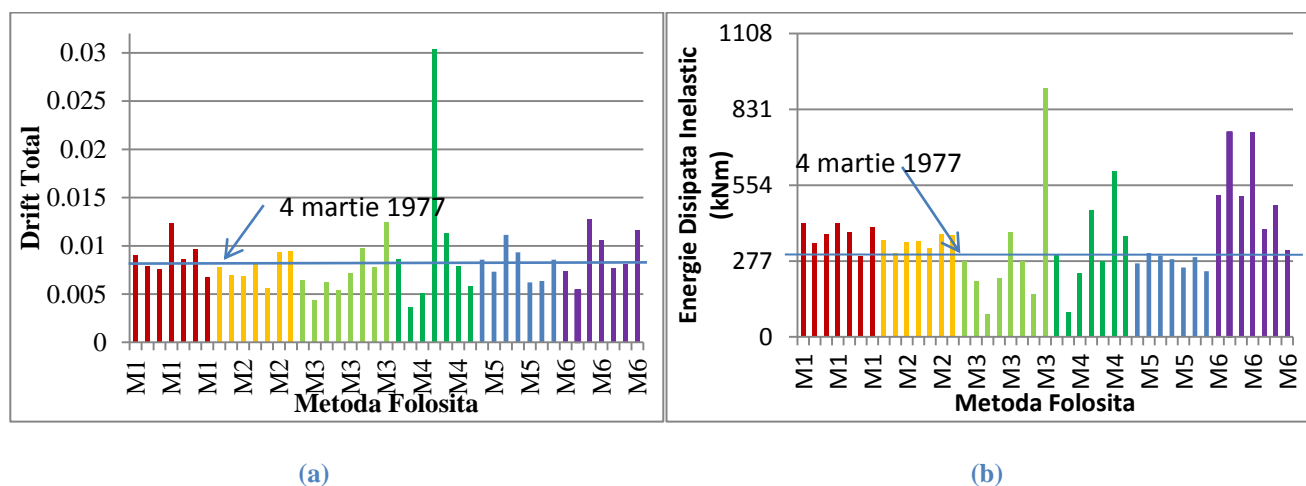


Figura 7 (a) Driftul maxim obținut pentru accelerogramele folosite; (b) Energia disipată inelastic pentru accelerogramele folosite

În tabelul următor se prezintă raportul dintre valorile medii ale driftului total maxim energiei induse respective inelastică și aceleași mărimi pentru cutremurul din 4 martie 1977.

Tabelul 1 Cantitatea de Energie Indusă și Disipată Inelastic pentru fiecare Metodă

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
<b>Medie Drift Total</b>	1.07	0.95	0.93	1.25	0.99	1.11
<b>Medie Energie Indusă</b>	1.37	1.28	1.25	1.32	1.1	2.14
<b>Medie Energie Disipată Inelastic</b>	1.31	1.21	1.09	1.16	0.97	1.85

Concluziile care se desprind sunt următoarele

1. Se observa ca cele mai bune rezultate se obtin pentru metoda M5 de modificare a accelerogramelor folosind waveleții;
2. De asemenea se observa rezultatele bune produse de algoritmul SIMQKE (M1) și (M2) în ceea ce privește deplasările. Cu toate acestea pentru ambele metode exista o supraestimare a energiei disipate inelastic. Trebuie observat ca metoda de generare pe spectrul redus produce rezultate superioare metodei de generare pe spectrul de proiectare;
3. Metodele de selectie a accelerogramelor și scalare (M3 și M4) supraestimeaza energia indusa iar M4 supraestimeaza cel mai mult deplasările (25%);
4. M6 metoda SYNTH produce rezultate comparabile în ceea ce privește deplasările dar supraestimeaza energiile cel mai mult dintre toate seturile de accelerograme;

Pentru analizele următoare se folosește setul de 7 accelerograme înregistrate și modificate folosind waveleți.

## Cap.IV. Metoda de amplasare optimă a amortizoarelor vâscoase liniare

Există o serie de metode de determinare a unei distribuții optime pentru o structură existentă. În principal, o mare parte dintre aceste metode se bazează pe alegerea unei distribuții cvasioptime și efectuarea de analize dinamice neliniare modificând iterativ parametrii amortizoarelor până ce se ajunge la un număr de iterații prestabilit sau la convergență în rezultate (Rodrigo și Romero). În aceasta lucrare se va prezenta algoritmul propus de Takewaki pentru determinarea distribuției optime a amortizoarelor vâscoase considerând influența aleatoare a răspunsului seismic.

### IV.1. Aspecte teoretice

Algoritmul de optimizare folosit de Takewaki pornește de la ecuația de mișcare scrisă pentru un sistem cu  $n$  grade de libertate. Pentru simplitate în algoritmul de față se consideră clădirile ca fiind un model condensat.

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = -Mr\ddot{x}_t \quad (3)$$

Unde  $M$  reprezintă matricea maselor,  $C$  reprezintă matricea de amortizare și  $K$  reprezintă matricea de rigiditate a sistemului,  $r = \{1 \dots 1\}^T$ ,  $x$  reprezintă deplasarea structurii, iar  $\ddot{x}_t$  accelerația terenului. Ecuația de mișcare este o ecuație diferențială de ordinul doi a cărei soluție este dificil de calculat. Din punct de vedere matematic o exprimare a ecuației de mișcare în domeniul frecvențelor prezintă o serie de avantaje cum ar fi liniarizarea acesteia. În continuare se aplică transformata Fourier ecuației de mișcare:

$$(-\omega^2 M + i\omega C + K)X(\omega) = -Mr\ddot{X}_t(\omega) \quad (4)$$

Sau notând  $A(\omega) = -\omega^2 M + i\omega C + K$

$$A(\omega)X(\omega) = -Mr\ddot{X}_t(\omega) \quad (5)$$

sau

$$X(\omega) = -A(\omega)^{-1} Mr\ddot{X}_t(\omega) \quad (6)$$

În expresia (4)  $\omega$  reprezintă pulsația  $X(\omega)$  reprezintă transformata Fourier a deplasărilor etajelor iar  $\ddot{X}_g(\omega)$  reprezintă transformata Fourier a accelerației terenului. Optimizarea răspunsului structurii presupune alegerea unui indicator. În acest caz ca indicator se consideră deplasarea relativă de nivel. Aceasta este considerată în mai multe coduri un parametru bun pentru a caracteriza răspunsul structurii. În FEMA 356 [9] driftul de nivel reprezintă un parametru de control pentru nivelul de

performanță al structurii. În acest sens se alege ca indicator de performanță deplasarea relativă de nivel. Aceasta poate fi exprimată în funcție de deplasările fiecărui etaj folosind o matrice de transformare  $T$  :

$$d_r(\omega) = TX(\omega) \quad (7)$$

Înlocuind expresia deplasării relative de nivel în expresia (6):

$$d(\omega) = -TA(\omega)^{-1}Mr\ddot{X}_t(\omega) \quad (8)$$

Expresia (8) face legătura între acțiune  $\ddot{X}_g(\omega)$ , în acest caz seismul și deplasarea relativă de nivel  $d(\omega)$ . Se definește funcția de transfer  $H_d(\omega)$  cu următoarea expresie:

$$H_d(\omega) = -TA(\omega)^{-1}Mr \quad (9)$$

Cunoscând acțiunea seismică se poate calcula răspunsul sistemului respectiv deplasările relative de nivel folosind funcția de transfer. Se presupune că mișcarea seismică este un proces aleatoriu, staționar cu media zero. Astfel conținutul de frecvență și intensitatea semnalului pot fi reprezentate folosind funcția de densitate spectrală de putere (DSP) notată cu  $P_g(\omega)$ . Folosind teoria vibrațiilor se poate evalua dispersia medie pătratică a deplasării relative de nivel a etajului „i” ( $\sigma_{d_i}^2$ ) folosind relația:

$$\sigma_{d_i}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |H_{d_i}(\omega)|^2 P_g(\omega) d\omega \quad (10)$$

sau folosind conjugata funcției de transfer ( $\bar{H}_{d_i}(\omega)$ ):

$$\sigma_{d_i}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} H_{d_i}(\omega) \bar{H}_{d_i}(\omega) P_g(\omega) d\omega \quad (11)$$

### IV.2. Definierea și rezolvarea problemei distribuției optime

În continuare se va prezenta problema distribuției optime a amortizoarelor vâscoase. Problema este una foarte dificilă de formulat dar și de calculat. Din aceasta cauză se apelează la o serie de ipoteze simplificatoare:

1. Structura va fi modelată simplificat ca un model condensat pentru care fiecare etaj este caracterizat prin masă, rigiditate și un coeficient de amortizare,  $(m_i, k_i, c_i)$ , care este suma a două componente una provenită din amortizarea naturală a structurii și una provenită din montarea amortizoarelor;
2. Pentru a folosi exprimarea în domeniul frecvențelor se presupune ca structura nu prezintă incursiuni în domeniul postelastice (matricea  $K$  de rigiditate rămâne constantă);

3. Accelerograma care reprezintă acțiunea seismică este considerată un proces aleator staționar cu media 0;
4. Ca și obiectiv pentru algoritmul de optimizare se consideră minimizarea sumei deplasărilor relative de nivel, adică a deplasării relative de nivel totale;

Problema de optimizare poate fi sintetizată în modul următor. Cunoscând caracteristicile dinamice ale unei structuri (matriciile  $\mathbf{M}, \mathbf{C}, \mathbf{K}$ ) și caracteristicile mișcării terenului ( $P_g$ ) să se găsească distribuția optimă a amortizoarelor vâscoase liniare ( $c_i$ ) care să conducă la minimul sumei dispersiei pătratice a deplasărilor relative de nivel, denumită în continuare funcție obiectiv:

$$f_0 = \sum_{i=1}^n \sigma_{D_i}^2 \quad (12)$$

Rezolvarea problemei de optim trebuie, înafara condiției menționate, să ia în calcul și diferite restricții care țin de proiectarea curentă. În speța, se impun două condiții rezultate din nevoile de proiectare. În primul rând se impune o condiție asupra sumei constantelor de amortizare ale amortizoarelor:

$$\sum_{i=1}^n c_i = C_{tot} \quad (13)$$

Faptul ca suma constantelor de amortizare este definită reprezintă un criteriu tehnic, impunând practic o cantitate de amortizare maximă la care structură trebuie să ajungă prin introducerea amortizoarelor. De asemenea, aceasta condiție reprezintă o condiție țintă pentru algoritmul de optimizare, valorile amortizoarelor fiind incrementate până la îndeplinirea acestei condiții, așa cum se prezintă în continuare.

O a doua condiție care trebuie luată în calcul este limitarea constantei de amortizare a amortizoarelor vâscoase liniare:

$$0 \leq c_i \leq c_{lim} (i = 1..n) \quad (14)$$

Există trei motive pentru care impunerea unei limite pentru fiecare coeficient de amortizare este utilă. În primul rând trebuie luat în calcul aspectul tehnic, un producător poate produce o anumită gamă de amortizoare, valorile pentru forțele maxime fiind specificate, acestea se pot converti în valori ale constantelor de amortizare. În al doilea rând se consideră aspectul economic, limitând valoarea constantei de amortizare se limitează forța dezvoltată în amortizor, acesta fiind mai ieftin. Nu în ultimul rând trebuie luat în calcul faptul ca o constanta mare de amortizare conduce la dezvoltarea de forțe importante în amortizor care la rândul lor sunt transmise elementelor structurii. Astfel este posibil ca o limita asupra constantei de amortizare să fie impusă de structură care trebuie să suporte forțele dezvoltate în amortizor. Condiția (14) impune de asemenea evitarea unor soluții pentru care coeficienții de amortizare sunt negativi. Acest lucru este necesar pentru a înlătura eventualele soluții matematice posibile în care acești coeficienți sunt negativi care însă din punct de vedere fizic nu au sens.

Pentru rezolvarea problemei de optimizare se folosește metoda multiplicatorilor Lagrange, care oferă un algoritm de a găsi maximum sau minimum unei funcții considerând anumite condiții de tipul celor menționate anterior. Astfel se consideră exprimarea Lagrangianului generalizat pentru problema menționată, folosind multiplicatorii lui Lagrange  $\lambda_1$

$$L(c_{1..n}, \lambda_1) = \sum_{i=1}^n \sigma_{D_i}^2 + \lambda_1 (\sum_{i=1}^n c_i - C_{tot}) \quad (15)$$

În ecuația (15)  $\lambda_1$  este multiplicatorul Lagrange corespunzător condiției (13). Condiția (14) este neglijată în exprimarea matematică, dar este îndeplinită implicit prin folosirea algoritmului Figura 8. Din condiția de staționaritate pentru care nu există limite superioare și inferioare pentru amortizoare  $L(c, \lambda_1)$  derivând funcție de cele două variabile nenule se obține:

$$\frac{\partial f(c_{1..n})}{\partial c_j} + \lambda_1 = 0 \quad (16)$$

pentru  $0 < c_j < c_{lim}$

$$\sum_{i=1}^n c_i - C_{tot} = 0 \quad (17)$$

În continuare se prezintă schema algoritmului de optimizare a amortizoarelor propusă de Takewaki [2] pentru rezolvarea problemei descrise.



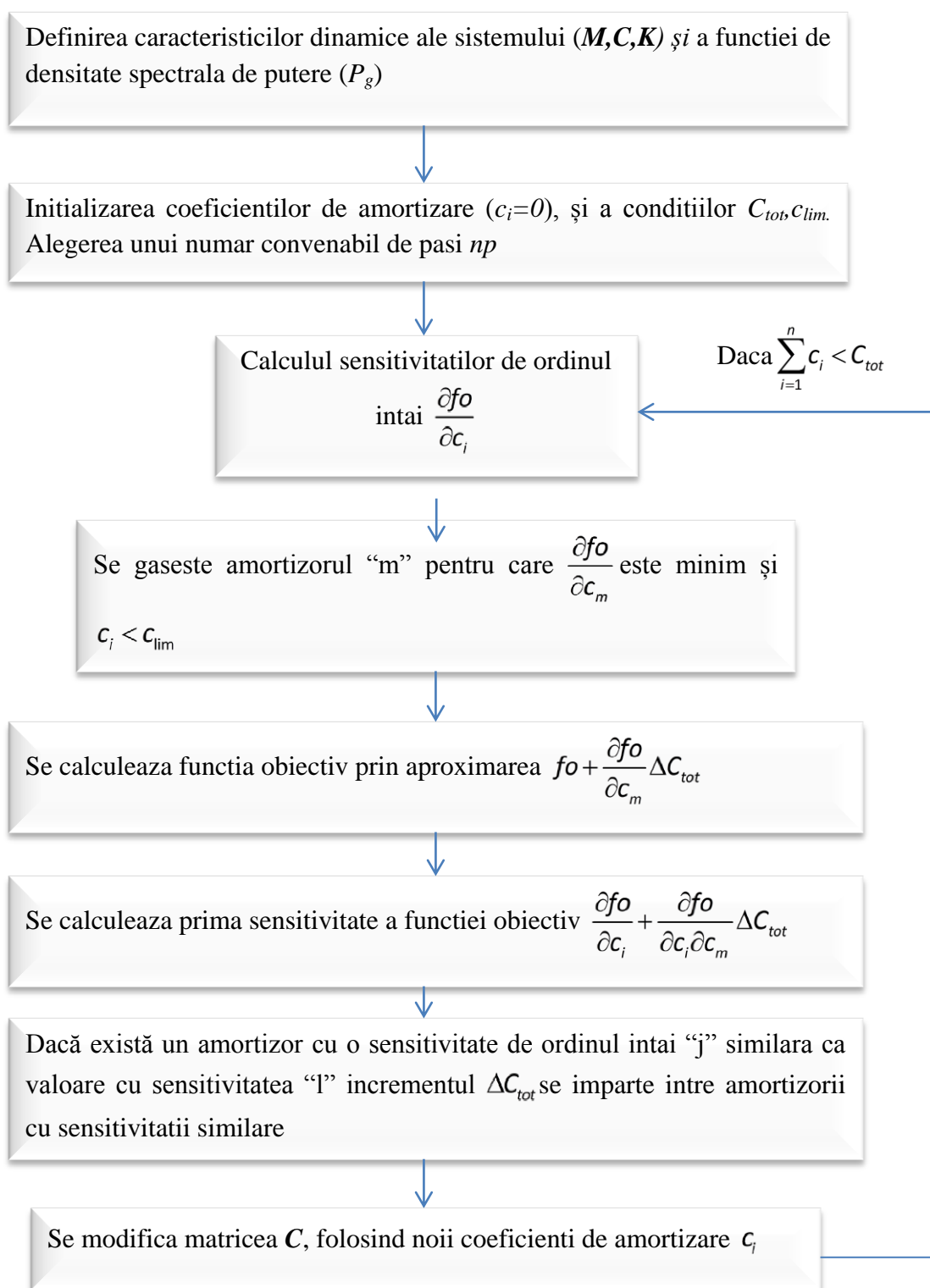


Figura 8 Schema Algoritmului de Optimizare

## IV.3. Modelarea Hazardului Seismic

Pentru a rezolva problema de amplasare optima funcția de densitate spectrala de putere (DSP) trebuie cunoscuta, aceasta însă variază în conținut de frecvențe și în amplitudine de la un cutremur la altul. Se folosește ipoteza ca distribuția optima va fi determinată pentru funcția de DSP care produce cel mai defavorabil răspuns structurii. Pentru cazul structurii de 6 niveluri din beton armat prezentată ulterior se observă (Figura 9) ca funcția DSP, în cazul cutremurului 4 martie 1977 nu prezintă vârful de putere pe aceeași pulsație ca și structura. Cea mai defavorabilă funcție DSP ar fi o funcție Dirac care are toată energia concentrată în dreptul pulsației fundamentale a structurii și în rest ar fi 0. Cu toate acestea cutremurele reale nu concentrează întreaga putere pe o singură pulsație. În acest sens, pentru a conserva caracterul cutremurului înregistrat funcției DSP i se impune o limită asupra puterii totale ( $P_{lim}$ ) și a amplitudinii maxime ( $\rho_{lim}$ ):

$$\int_{-\infty}^{+\infty} P_g(\omega) d\omega \leq P_{lim} \quad (18)$$

$$\max(P_g(\omega)) \leq \rho_{lim} \quad (19)$$

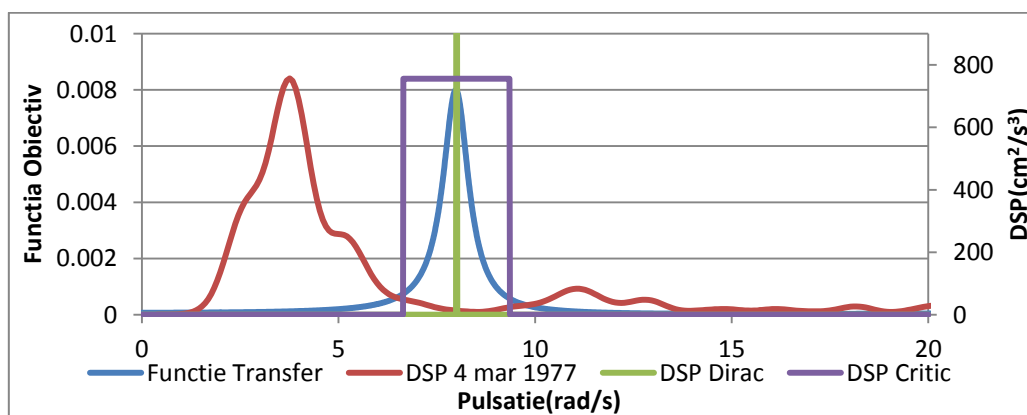


Figura 9 Funcția Obiectiv, și funcțiile DSP considerate

Valorile pentru aceste două limite sunt calculate pe baza funcției DSP a accelerogramei 4 martie 1977.

## IV.4. Influența interacțiunii teren structură asupra calculului distribuției optime

În acest capitol se prezintă influența pe care o are terenul de sub construcție în calculul distribuției optime a amortizoarelor în structură. Modelul este similar celui folosit pentru structuri. Straturile de pământ sunt caracterizate tot ca un model condensat. Pentru fiecare strat se folosește un model echivalent liniar, introdus de Schnabel [15] care presupune ca rigiditatea și amortizarea stratului sunt dependente de deformația specifică. Fiecare strat de pământ este caracterizat de  $G_1, \rho_1, \xi_1, l_1$  modulul de rigiditate transversal al stratului, greutatea sa specifică, amortizarea echivalentă a stratului și grosimea stratului. La limita inferioară a modelului se prevede un amortizor, care ține cont de efectul de amortizare prin radiație Lysmer și Kuhlemeyer [16] și se calculează cu formula:

$$Cv = \rho_0 \dot{x}_s A = \sqrt{\rho_0 G_0} A \quad (20)$$

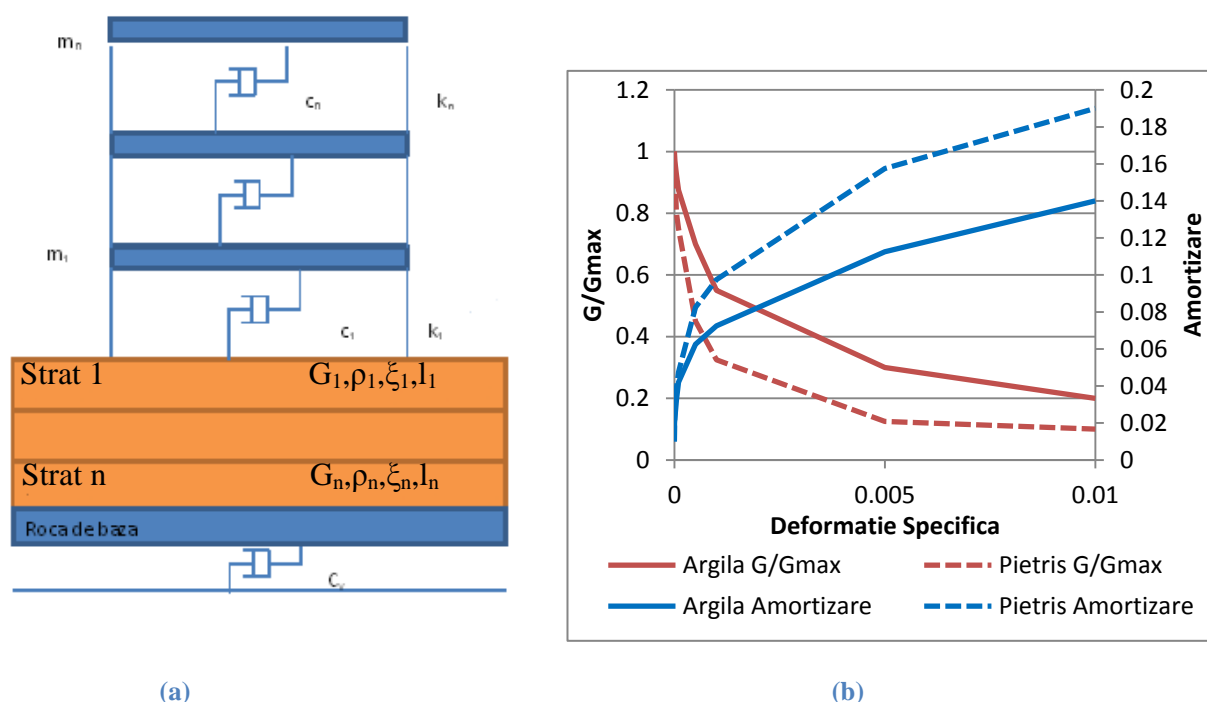


Figura 10 a) Schema modelului condensat cu considerarea interacțiunii teren-structura; b) Variația modului de elasticitate transversala și a amortizării cu deformația specifică

La fiecare pas al algoritmului de optimizare odata cu schimbarea amortizorilor se schimba și răspunsul ansamblului considerat. Astfel pentru fiecare pas se efectuează un număr de 10 iterații suficient pentru ca valoarea modului de rigiditate transversala și amortizării să se stabilizeze pentru fiecare amortizor. Ecuație în care  $\rho_0, \dot{\chi}_s, A, G_0$  reprezintă greutatea specifică a stratului rocii de baza, viteza undei prin acest strat, aria aferentă orizontală a modelului, și modulul de elasticitate transversal al aceluiași strat.

## IV.5. Obținerea modelului condensat

Pentru algoritmul de optim se utilizează un model condensat de tip stick. Modelul condensat se obține rezolvând invers problema de vectori și valori proprii. Modelând structura în programul PERFORM 3D v.5 se obține primul mod de vibrație și masele de etaj. Cunoșcând vectorul deplasărilor normalizate în primul mod de vibrație și matricea maselor se poate deduce matricea de rigiditate a sistemului condensat.

## Cap.V. Studii numerice

În continuare se realizează o serie de analize dinamice neliniare. Scopul acestor analize dinamice neliniare este să testeze algoritmul de amplasare optimă și să evidențieze posibilitatea extinderii rezultatelor algoritmului de plasare optimă a amortizoarelor pentru domeniul neliniar. Concret se vor

testa rezultatele obținute pentru clădirile echipate cu distribuția optimă fata de cele fara amortizori si de cele cu distributie uniforma.

O serie de studii anterioare demonstrează posibilitatea folosirii acestei metode pentru a găsi o distribuție optimă (Pricopie și Crețu [3], [4]). Cu toate acestea studiile numerice sunt restrânse la un cadru de 6 etaje din beton armat. Pentru a valida metoda este nevoie de o gama variată de teste pe o serie de structuri atât din beton armat cât și metalice.

Studiile sunt importante și din punctul de vedere al evoluției codurilor romanești de proiectare și în special al modificării intervalului mediu de recurență pentru cutremurul de proiectare de la 100 de ani la 475 de ani. Aceasta modificare va însemna o creștere a cerinței de proiectare semnificative care va conduce la necesitatea de consolidare a unei număr important de imobile proiectate pentru vechiul interval mediu de recurență. Din acest punct de vedere o soluție de consolidare o poate reprezenta introducerea în structură a amortizoarelor vâscoase.

In concluzie problemele la care studiile numerice vor trebui să găsească răspuns sunt următoarele:

1. Validarea algoritmului de amplasare optimă a amortizoarelor liniar vâscoși în domeniul neliniar;
2. Verificarea oportunității reabilitării clădirilor existente prin introducerea amortizoarelor vâscoase;
3. Măsura în care amortizoarele vâscoase reduc răspunsul seismic datorat cutremurelor de tip puls, specifice sursei Vrancea;
4. Impactul asupra elementelor structurii datorat introducerii acestor amortizoare în structura.

Pentru a răspunde la aceste întrebări studiile numerice vor fi alcătuite în felul următor. Se vor studia 6 cadre cu diferite niveluri de înălțime (6, 10 15 niveluri).

### V.1. Prezentarea structurilor

---

În continuare se prezintă structurile și metodele de modelare aferente pentru calculul dinamic neliniar. Pentru a surprinde atât comportarea structurilor din beton cât și a celor metalice 3 structuri vor avea structură din beton una dintre ele pe cadre și două cadre împreună cu pereți din beton armat și 3 structuri vor avea structură metalică alcătuită din cadre contravântuite centric.

#### V.1.1. Considerații privind proiectarea și modelarea clădirilor

---

Clădirile au toate traveele și deschiderile egale cu 6 m. Din fiecare clădire se extrage un cadru central reprezentativ care este solicitat de încărcările aferente. Pentru toate clădirile din beton armat întrebuintarea s-a considerat ca fiind locuințe. Încărcările considerate sunt încărcări permanente (5 kPa) încărcare definită ca o forță uniform distribuită pe toate grinzile structurii la fiecare etaj și încărcări utile (2 kPa) definite similar. Clădirile se consideră a fi amplasate în București unde accelerația de proiectare a terenului este  $a_g=0.24g$  pentru intervalul mediu de recurență de 100 de ani. Toate structurile sunt supuse la seria de 6 cutremure înregistrate și modificate, printre care și cutremurul din Vrancea 1988 și cutremurul înregistrat la 4 martie 1977, aplicate la baza structurii pe direcția longitudinală a cadrului.

Pentru ca algoritmul de distribuție a amortizoarelor să fie testat corespunzător comportarea inelastică a structurilor trebuie modelată. Această modelare s-a realizat folosind programul de calcul cu element

finiț PERFORM 3D v5 [17]. Comportarea neliniară este considerată prin folosirea articulațiilor plastice la capetele grinzilor și a stâlpilor. Pentru grinzi se folosesc articulații plastice care consideră doar efectul momentului încovoietor în timp ce pentru stâlpi articulațiile plastice consideră și influența forței axiale (P-M). Atât pentru grinzi cât și pentru stâlpi curba moment curbura este considerată ca fiind elastică perfect plastică. După atingerea nivelului maxim de rotație secțiunea își diminuează capacitatea de a prelua încărcări la 20% dar se poate roti în continuare.

În ceea ce privește pereții structurilor de rezistență aceștia sunt modelați folosind o descriere inelastică bazată pe fibre. Astfel fiecare perete este alcătuit din 14 fibre, 7 de beton și 7 de armatură. Fiecare fibră este definită ca poziție față de centrul de greutate al secțiunii și este caracterizată de un material și o arie de material. Aceasta modelare ține cont de interacțiunea care se produce între forța axială și momentul încovoietor modelând satisfăcător fenomene complexe cum ar fi strivirea betonului, cedarea din întindere sau pierderea de rigiditate cauzată de fisurarea betonului.

Modelarea proprietăților neliniare ale structurilor metalice este similară cu cea a structurilor din beton armat. În ceea ce privește contravântuirile structurii, acestea sunt modelate cu elemente de tip bară axial deformabilă cu un material de tip oțel care surprinde caracteristicile de flambaj ale contravântuirilor. Astfel curba histeretică pe care o dezvoltă materialul este prezentată în Figura 11. Cu linie punctată se reprezintă scheletul curbei în timp ce cu linie plină se prezintă o buclă histeretică care prezintă în punctul 1 curgerea în tensiune, în punctul 2 flambajul în compresiune iar în punctul 3 reincarnarea elementului. Pentru acest material nu există o deformare specifică fixă la care se produce flambajul, acesta fiind specificat prin lungimea platoului de curgere în zona de compresiune. De asemenea odată cu flambajul barei aceasta își pierde capacitatea de a mai transmite forța. În următorul ciclu de încărcare există un interval în care bara prezintă o rigiditate redusă până când aceasta poate prelua efortul de întindere, acesta fiind descris prin punctele A și B.

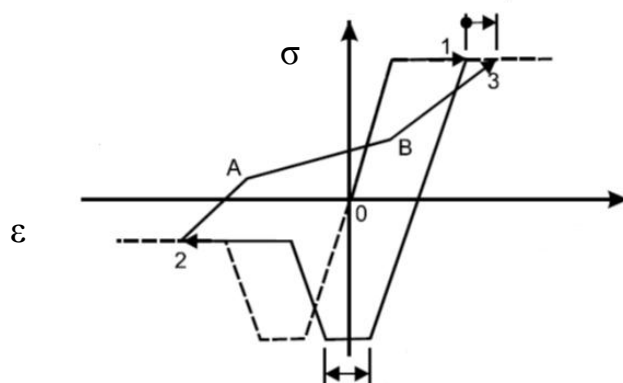


Figura 11 Comportarea histeretică a oțelului folosit pentru contravântuiri Powell

### V.1.2. Structura Beton Armat I (6 niveluri)

Prima structură din beton armat studiată este alcătuită exclusiv din cadre. Pentru toate structurile se propune un nivel de amortizare echivalentă dezvoltată de amortizorii vâscoși de 25% pe baza căruia se

calculează o distribuție uniformă de amortizoare ( $C_{unif} = 4000 \text{ kNs} / m$ ). Pentru fiecare structura cu  $n$  etaje se impun următoarele condiții în algoritmul distribuției optime:

$$\sum_{i=1}^n c_i = C_{tot} = C_{unif} * n \quad (21)$$

$$0 < c_i \leq 2C_{unif} \quad (22)$$

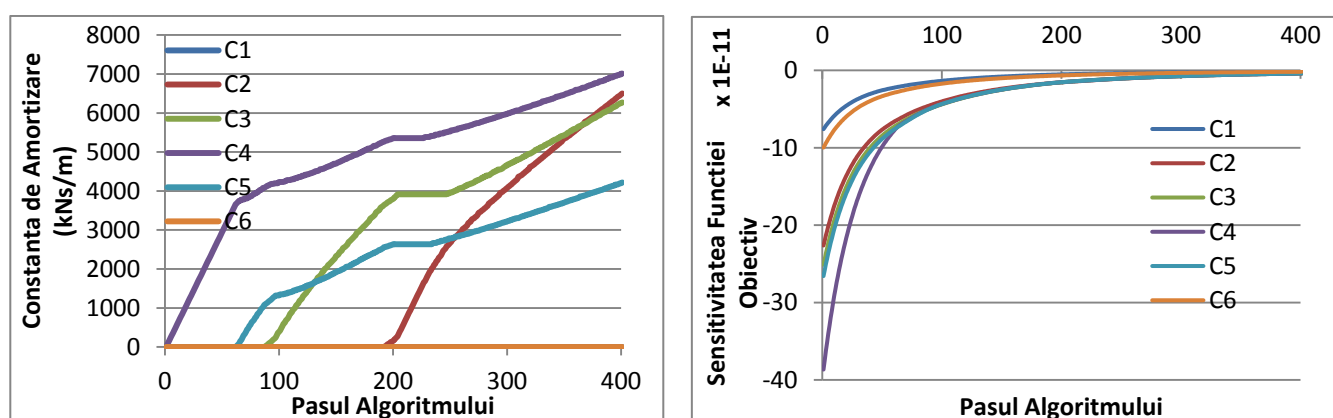


Figura 12 (a) Variația coeficienților de amortizare cu pasul algoritmului

b) Variația sensibilităților cu pasul algoritmului

Pornind de la cele două seturi de condiții și alegând un număr de 400 de pași algoritmul de poziționare optimă conduce la distribuția de amortizoare prezentată în Figura 12. În Figura 12.a. se prezintă variația constantelor de amortizare cu pasul algoritmului, în timp ce în Figura 12.b. se prezintă variația sensibilității funcției obiectiv. Algoritmul folosește prima sensibilitate crescând constanta de amortizare a amortizorului cu cea mai mică sensibilitate.

În Figura 13(a) se prezintă variația funcției obiectiv cu pasul algoritmului, în timp ce în Figura 13(b) se observă variația amortizării echivalente cu pasul algoritmului. Se observă că pentru distribuția optimă funcția obiectiv este mai mică față de distribuția uniformă în timp ce în cazul amortizării echivalente aceasta este mai mare în cazul distribuției optime. Aceste rezultate confirmă rezultatele algoritmului de optim pentru domeniul liniar.

Algoritmul se repeta pentru cele 5 structuri în capitolele V.1.3.-V.1.7. obținând pentru fiecare structura distribuția optimă a amortizorilor vâscoși.

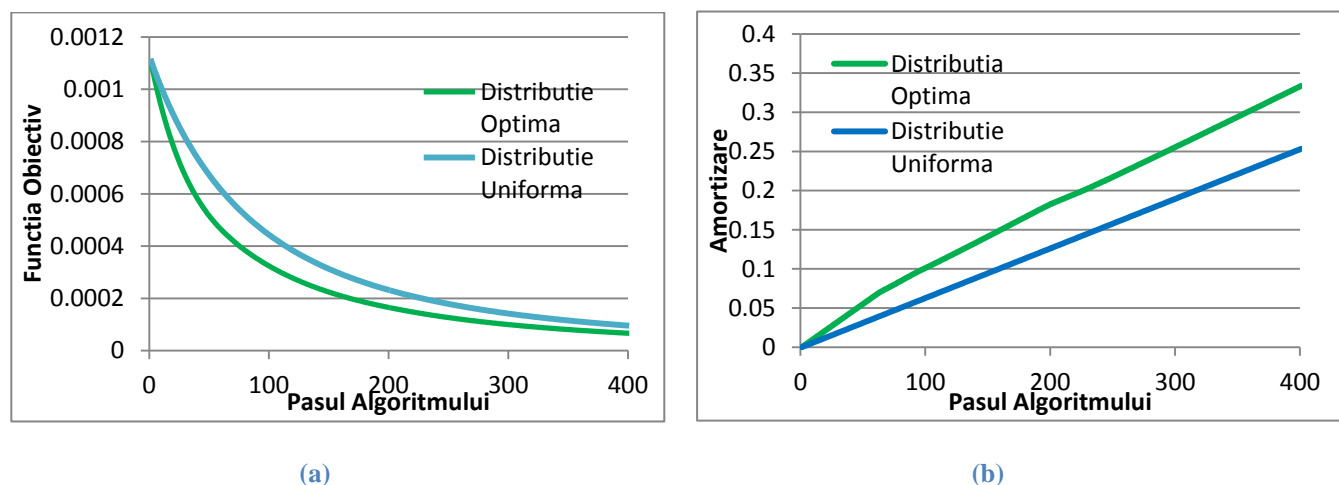


Figura 13 (a) Variația funcției obiectiv cu pasul algoritmului; (b) Variația amortizării echivalente cu pasul algoritmului

## V.2. Concluzii și observații despre algoritmul de amplasare optimă

În continuare se prezintă principalele rezultate ale algoritmului de amplasare optimă. În Tabelul 2 se

Tabelul 2 Rezultatele algoritmului de poziționare optimă; Constantele de amortizare ale amortizorilor vascosi (kN s/m)

Nivel	Beton I (6 niveluri)	Beton II (10 niveluri)	Beton III (15 niveluri)	Metal I (6 niveluri)	Metal II (10 Niveluri)	Metal III (15 Niveluri)
1	0	0	7300	0	0	0
2	6500	0	10200	6400	1600	0
3	6270	0	13000	5400	8000	0
4	7010	12300	15900	4100	9200	0
5	4220	17770	19000	3900	9700	10500
6	0	17100	21500	0	9300	16000
7		15000	24000		6700	16000
8		12300	24000		5500	16000
9		9330	24000		5000	16000
10		6200	21100		0	14000
11			0			12600
12			0			11000
13			0			7500
14			0			0
15			0			0
<b>Reducerea funcției obiectiv (%)</b>	30%	30%	30%	21%	14%	22%
<b>Creșterea amortizării echivalente</b>	24%	22%	22%	17%	12%	14%
<b>Reducerea numărului de amortizoare</b>	33%	30%	33%	33%	20%	33%

prezintă rezultatele obținute în termeni de reducere a funcției obiectiv, reducerea numărului de amortizoare folosind distribuția optimă și creșterea amortizării echivalente prin folosirea amortizoarelor vâscoase. Prima observație constă în faptul că este foarte greu de spus că există un tipar după care se realizează amplasarea optimă. Singurul lucru constant în toate cele 6 cazuri este că amortizoarele cu cea mai mare capacitate se găsesc în etajele mediane ale structurii.

Pentru domeniul liniar se observa scăderi în deplasări între distribuția optimă și cea uniformă. Aceste rezultate se înregistrează utilizând un număr cu circa 30 % mai mic de amortizoare decât în cazul distribuției uniforme.

### V.3. Analiza dinamică incrementală

În prezent codurile de proiectare presupun comportarea diferită a structurilor pentru diferite niveluri de intensitate a acțiunii seismice. Codurile românești sunt construite în jurul aceleiași idei de proiectare bazată pe performanță, stabilind cutremurul de proiectare la un interval mediu de recurență de 100 de ani. Pentru a avea un nivel superior de asigurare se dorește armonizarea cu Eurocodurile și codurile americane pentru care intervalul mediu de recurență este 475 de ani. În acest sens se va realiza o analiză a structurii la diferite niveluri de intensitate seismică.

O metodologie de studiu pentru clădiri care investighează răspunsul structurii la diferite niveluri ale acțiunii seismice este analiza dinamică incrementală (IDA) Vamvatsikos și Cornell [18]. IDA este o metodă de analiză a structurilor care folosește mai multe analize dinamice neliniare. Rezultatul este o curbă IDA care prezintă variația unei mărimi de răspuns față de o mărime de intensitate a acțiunii seismice. În ceea ce privește intensitatea acțiunii, pentru acest studiu, aceasta este data de accelerația spectrală corespunzătoare primei perioade a structurii corespunzătoare spectrului cu 5% amortizare ( $S_a(T_1, 5\%)$ ). Factorii de scalare corespunzători au fost stabiliți folosind codurile FEMA 356 și P100/2006 și sunt prezentate în tabelul următor.

**Tabelul 3** Tabel cu factorii de scară folosiți

IMR	$P_{50}$	Factor de Scalare(FS)
40	70%	0.6
100	40%	1
225	20%	1.3
475	10%	1.5
975	5%	1.8
2475	2%	2.3
3475	1.4%	2.5

În afară de coeficienții prezentați se mai folosesc și pași intermediari pentru a defini mai bine curbele IDA. Se include în această listă și intervalul mediu de recurență de 3475 pentru că în unele cazuri colapsul nu se realizează pentru intervalele medii de recurență inferioare, acest prag este unul specific pentru studiile prezente.



## V.4. Rezultatele analizelor dinamice neliniare

În continuare se prezintă rezultatele analizelor dinamice neliniare. Acestea au fost realizate în programul de calcul dinamic neliniar PERFORM 3D. Numărul de modele analizate este 18, compus din 6 structuri și câte 3 modele pentru fiecare, primul fără amortizoare, cel de-al doilea cu amortizoare dispuse uniform și cel de-al treilea cu distribuția optimă a amortizoarelor. Fiecare model este supus la 7 accelerograme și fiecare accelerogramă este scalată folosind în medie 8 factori de scara. Înafara studiilor prezentate mai există o structură studiată de 6 etaje din beton armat pentru care s-a considerat influența interacțiunii teren structura. În total au fost rulate în jur de 1000 de analize dinamice neliniare al căror scop este să dovedească utilitatea algoritmului de plasare optimă a amortizoarelor vâscoase.

Pentru ca numărul de rezultate este mare se apelează la o reprezentare probabilistică pentru curbele IDA. Astfel la fiecare nivel de scalare pe rezultate se suprapune o funcție de densitate de probabilitate lognormală Vamvatsikos [18]. Curbele IDA sunt reprezentate prin valoarea medie a distribuției lognormale și fractiliile 16% și 84%. În Figura 14 se prezintă pentru structura de 6 etaje și nivelul de scalare 0.6 densitatea de repartiție și funcția de repartiție pentru driftul total.

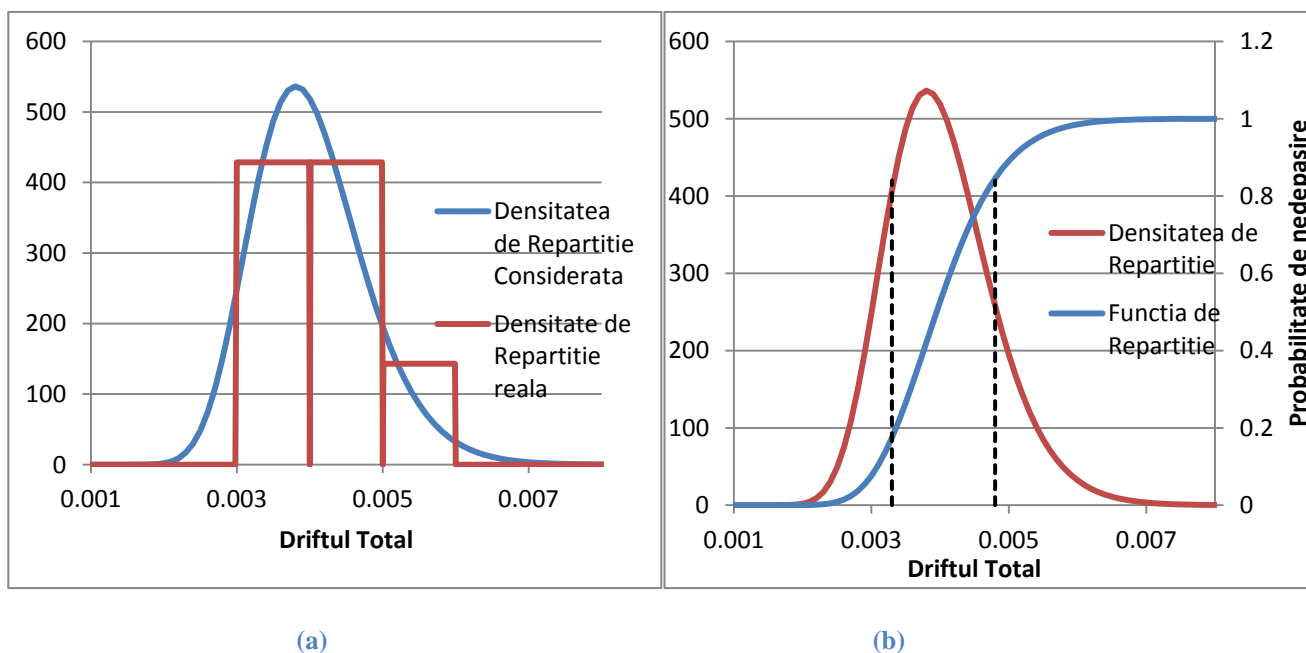


Figura 14 (a) Densitate de repartiție reală și considerată; (b) Densitatea de repartiție și funcția de repartiție

## V.4.1. Rezultate pentru structura Beton Armat I (6 niveluri)

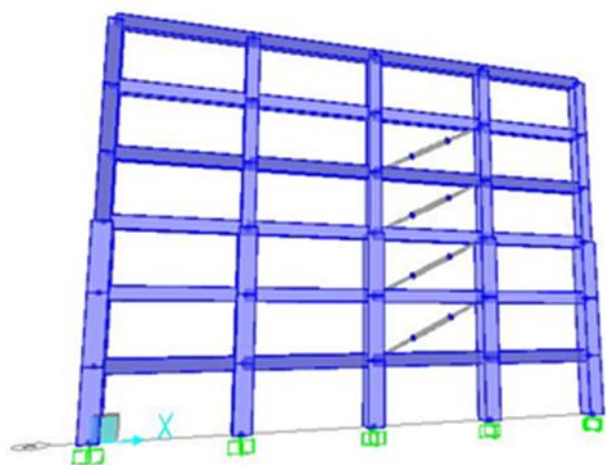


Figura 15 Structura de beton I 6 niveluri

În continuare se prezintă rezultatele analizelor numerice pentru structura din beton armat cu 6 niveluri. Modul de amplasare a amortizoarelor pentru distribuția optimă este prezentat în Figura 15. Pentru distribuția uniformă amortizoarele sunt montate în aceeași deschidere ca în cazul distribuției optime. În continuare se prezintă rezultatele analizei dinamice incrementale în ceea ce privește deplasările. Presupunând că distribuția deplasărilor este una lognormală se calculează curbele IDA pentru deplasări. În Figura 16 se prezintă curbele IDA pentru driftul total (între bază și ultimul nivel), cu linii punctate se prezintă fractilii curbelor 16 și 84% pentru

fiecare model în parte. Se observă reducerea importantă pe care o aduce introducerea amortizoarelor în structura, mai mult decât atât se observă că distribuția optimă produce rezultate superioare distribuției uniforme în ceea ce privește deplasarea totală. Diferența în deplasări, pentru curbele medii variază funcție de factorul de scara între 26% și ajunge până la 57% în cazul factorilor de scara superiori, situație pentru care structura fără amortizoare este practic colapsată. Diferențele între distribuția uniformă și cea optimă în termeni de deplasări sunt între 6% și 9% în funcție de factorul de scalare, în favoarea distribuției optime.

În Figura 16 (b) se prezintă forțele maxime din amortizoare pentru cele două distribuții. Este evident că pentru distribuția optimă forțele din amortizoare sunt superioare forțelor din structura echipată cu distribuția uniformă. Practic, cu toate că în cazul distribuției uniforme sunt mai multe amortizoare decât în cazul distribuției optime, amortizoarele folosite în distribuția optimă dezvoltă forțe superioare disipând mai multă energie. Diferențele în forțe sunt între 35-50% în funcție de nivelul de scalare. Rezultatele obținute sunt similare și pentru celelalte structuri investigate.

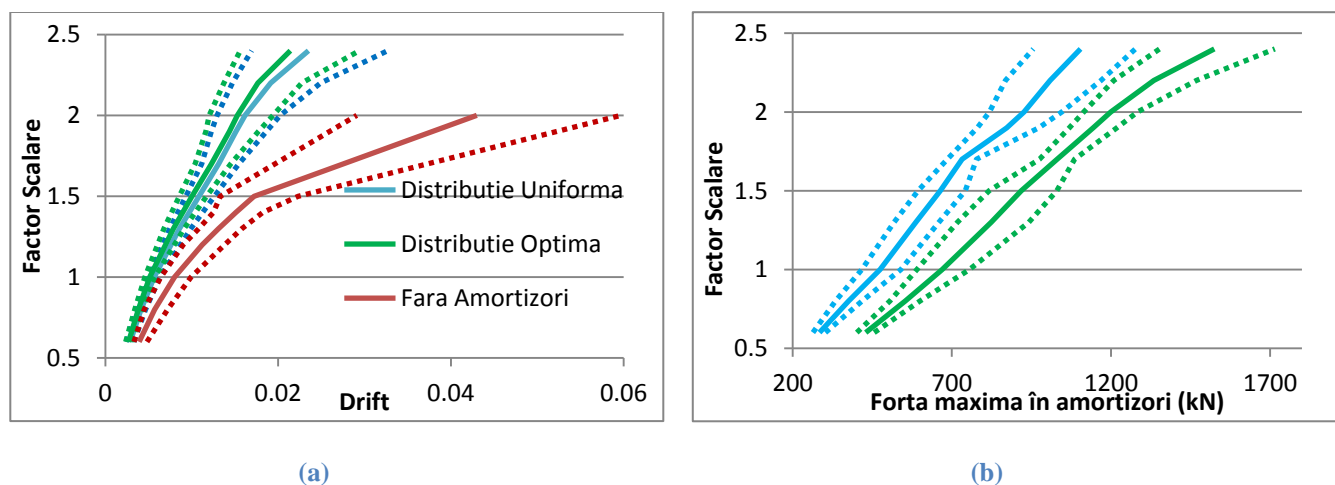
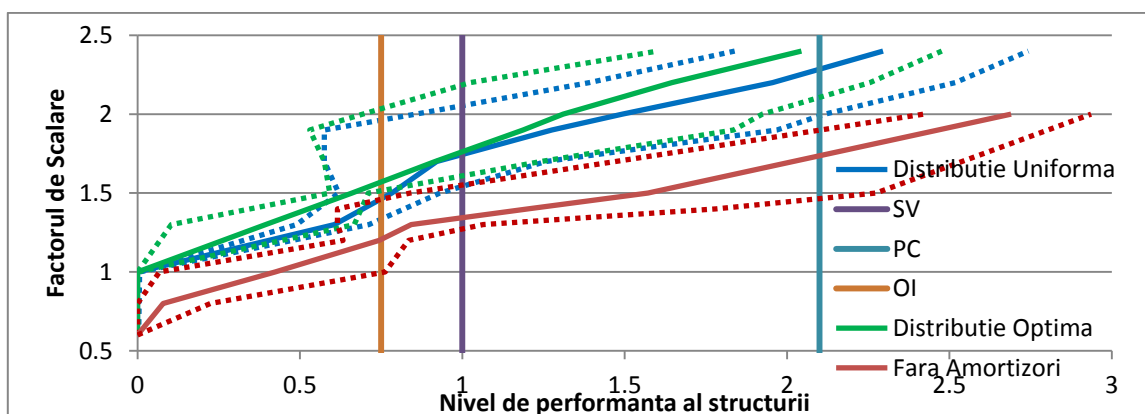


Figura 16 Curba IDA pentru: (a) drift total ;(b) forța maxima din amortizori

În continuare se evaluează nivelul de performanță în care se găsește structura pentru fiecare factor de scalare. Aceasta evaluare presupune indexarea stadiului în care se găsește fiecare element din structură. Funcție de acesta se calculează un indice ( $i$ ) care ține seama de acestea. Suplimentar se stabilesc o serie de limite pentru fiecare nivel de performanță.

$$i = \frac{N_{oi} + 2N_{sv} + 3N_{pc}}{N_t} \quad (23)$$

Unde  $N_{oi}, N_{sv}, N_{pc}$  reprezintă numărul de elemente care au cel puțin o articulație plastică a cărei nivel de performanță este de ocupare imediată, siguranța vieții, prevenirea colapsului. Pentru structură de beton armat numărul total de articulații plastice este  $N_t = 29$  iar limita pentru nivelul de ocupare imediată este 0.75, 1 pentru siguranța vieții și 2.1 pentru prevenirea colapsului. La aceste cifre se ajunge prin studierea mecanismelor de plastificare specifice structurii. Prin stabilirea acestor praguri se ține cont că fiecare nivel de performanță este depășit atunci când circa un sfert din articulațiile plastice posibile depășesc acest nivel de performanță.



**Figura 17 Curba IDA pentru indexul de performanță**

Din Figura 17 se observă scăderea indexului de performanță între modelul fără amortizoare și cel cu amortizoare. Dacă pentru modelul fără amortizoare pentru IMR 475 de ani structura se afla în medie în zona de prevenire al colapsului pentru clădirea cu distribuție uniformă aceasta se afla în domeniul de siguranța a vieții, iar pentru distribuția optimă se afla chiar în nivelul de performanță de ocupare imediată.

În continuare se studiază impactul introducerii amortizoarelor vâscoase asupra elementelor de legătură. În cazul structurilor prezente se studiază variația forței axiale în stâlpul adiacent amortizorului. Se consideră stâlpul marginal de care este legat amortizorul deoarece efectul indirect în acesta va conduce la rezultate nefavorabile. Forța axială este reprezentată la baza etajului 2. Rezultatele sunt prezentate doar pentru cutremurul real înregistrat. Se observă efectul introducerii amortizoarelor care este cu atât mai evident pentru factorii de scalare superiori, caracterizat prin creșterea efortului axial. În cazul clădirii cu 6 niveluri introducerea amortizoarelor nu conduce la apariția de articulații plastice suplimentare în stâlpul de care este legat amortizorul. Rezultatele sunt similare și pentru clădirea metalică de 6 niveluri. Pentru clădirile din beton armat și metal de 10 și 15 niveluri este însă necesară

o consolidare a stalpului. Pentru aceste cazuri introducerea amortizorilor conduce la forte în stalpi care produc colapsul acestora. În acest sens cladirile pentru cladirile din beton armat se monteaza 4 profile metalice care sa poata prelua intinderea aferenta stalpului iar pentru cladirile metalice stalpii sunt supradimensionati.

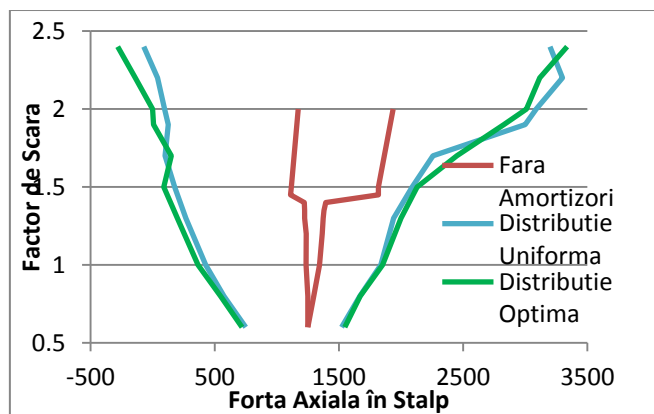


Figura 18 Curba IDA pentru forta axiala din stalp

În continuare se prezintă bilanțul energetic pentru modelele studiate. În Figura 19 se prezintă evoluția energiei în cele trei modele. Se reprezintă de asemenea variația energiei totale ( $E_t$ ) disipate inelastic ( $E_{in}$ ), prin intermediul articulațiilor plastice din grinzi stâlpi și energia disipata de amortizoarele vâscoase ( $E_{vs}$ ). Este evidentă că prin introducerea amortizoarelor, o parte din energia disipa ă inelastic este disipată de amortizoarele vâscoase. De asemenea se observă că distribuția optimă reduce mai mult decât distribuția uniformă cantitatea de energie inelastică disipată.

În capitolele V.4.2.-V.4.5. se prezintă rezultatele pentru celelalte 5 clădiri. Rezultatele sunt similare cu cele prezentate pentru structura de 6 niveluri.

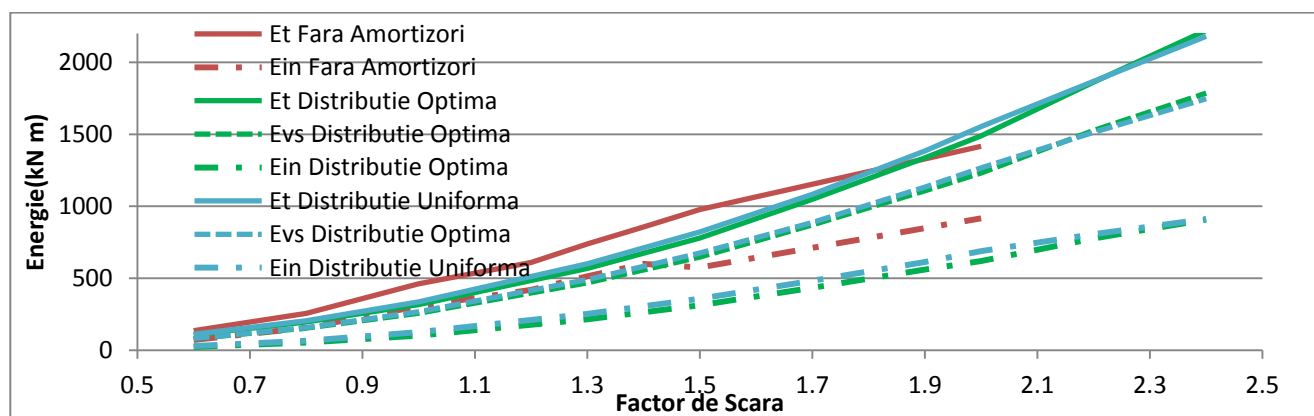
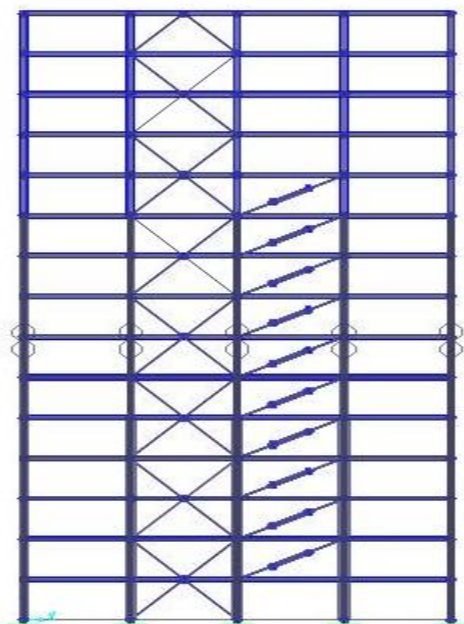


Figura 19 Curba IDA pentru Energia totala , Energia disipata inelastic și Energia disipata de amortizoare

## V.4.6. Rezultate pentru structura Metal III(15 niveluri)



În continuare se prezintă rezultatele analizelor numerice pentru structura metalică cu 15 niveluri care prezintă anumite particularități în rezultatele obținute. Modul de amplasare a amortizoarelor pentru distribuția optimă este prezentat în Figura 20. Pentru distribuția uniformă amortizoarele sunt montate în aceeași deschidere ca în cazul distribuției optime. În continuare se prezintă rezultatele analizei dinamice incrementale în ceea ce privește deplasările. Presupunând ca distribuția deplasărilor este una lognormală se calculează curbele IDA pentru deplasări. Este important de menționat ca în cazul acestei structuri, nu a fost necesară consolidarea stâlpului de care sunt atașați amortizoarele dar acesta a fost supradimensionat.

Figura 20 Modelul Beton 6 niveluri, distribuția optimă

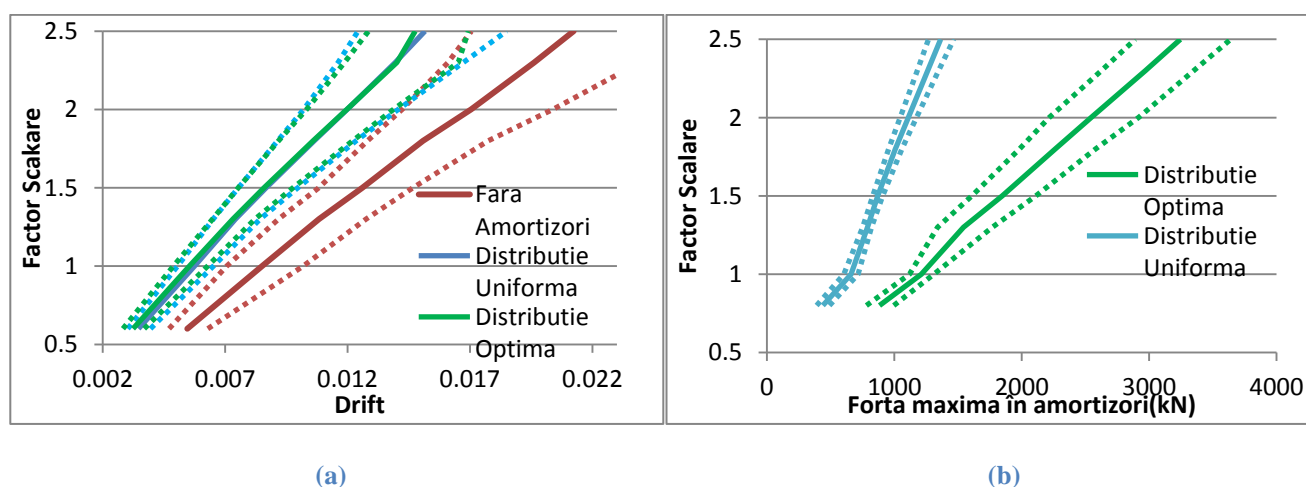


Figura 21 (a) Curba IDA pentru Driftul total; (b) Curba IDA pentru forța maximă în amortizori.

În Figura 21 se prezintă curbele IDA pentru driftul total, cu linii punctate se prezintă fracțiile curbelor 16% și 84% pentru fiecare model în parte. Se observă reducerea importanța pe care o aduce introducerea amortizoarelor în structura. Față de modelele anterioare, însă diferența între distribuția uniformă și cea optimă este aproape nesemnificativă. Diferența în deplasări între modelul fără amortizoare și modelul cu distribuție uniformă, pentru curbele medii variază funcție de factorul de scalare între 30% și 37%. Diferențele între distribuția uniformă și cea optimă, sunt nesemnificative în termeni de deplasări, între 1% și 7% în funcție de factorul de scara. Este interesant faptul ca totuși distribuția optimă prezintă pentru fiecare nivel de scalare rezultate mai bune, chiar dacă marginal.

De asemenea, se prezintă forțele maxime din amortizoare pentru cele două distribuții. Este evident că pentru distribuția optimă forțele dezvoltate de amortizoare sunt superioare forțelor din structura echipată cu distribuția uniformă. Practic cu toate că rezultatele în deplasări sunt identice, amortizoarele folosite în distribuția optimă dezvoltă forțe superioare disipând mai multă energie. Diferențele în forțe sunt între 40-50%.

În continuare se evaluează nivelul de performanță în care se găsește structura pentru fiecare factor de scară. Aceasta evaluare presupune indexarea stadiului în care se găsește fiecare element din structura. Funcție de acesta se calculează un indice ( $i$ ) care ține seama de acestea și o serie de limite pentru fiecare nivel de performanță.

Pentru structura metalică numărul total de articulații plastice  $N_t = 30$  iar limita pentru nivelul de ocupare imediată este 0.75, 1.5 pentru siguranța vieții și 2.1 pentru prevenirea colapsului. La aceste cifre se ajunge prin studierea mecanismelor de plastificare specifice structurii. Prin stabilirea acestor praguri se ține cont că fiecare nivel de performanță este depășit atunci când circa un sfert din articulațiile plastice posibile depășesc acest nivel de performanță.

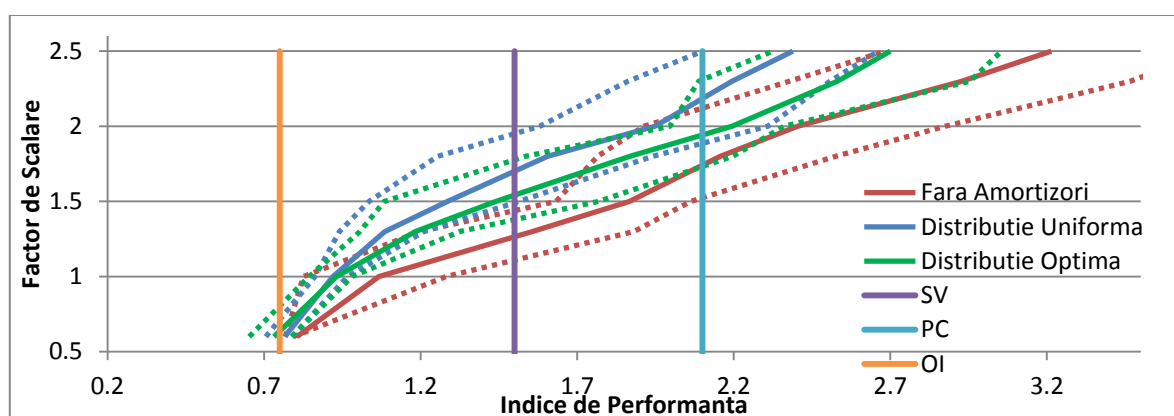
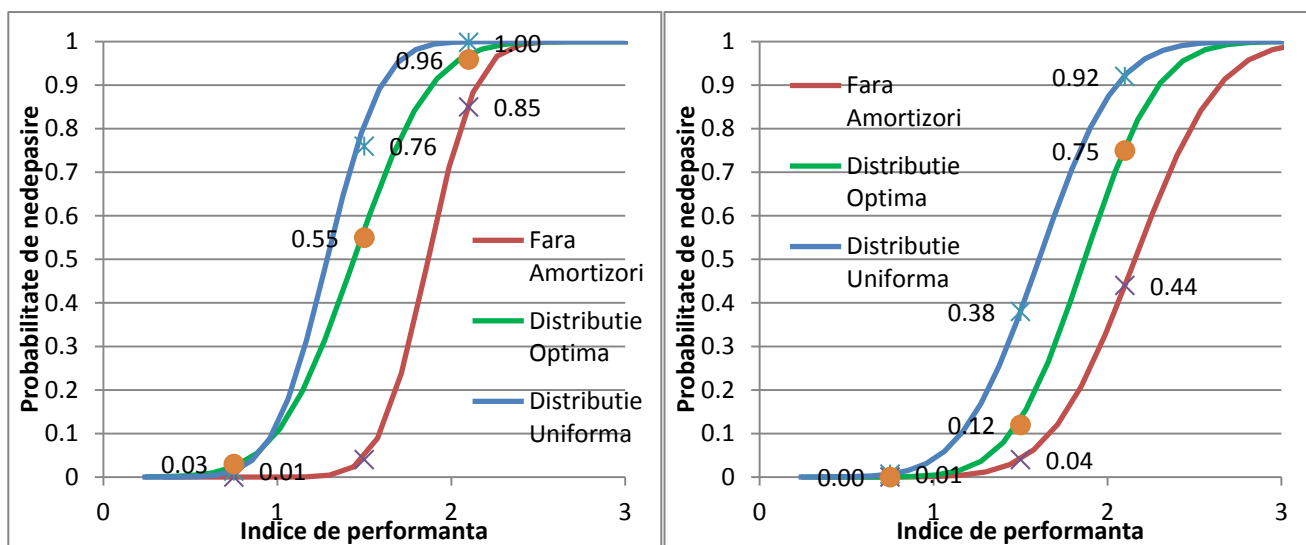


Figura 23 Curba IDA pentru indicele de performanță al structurii

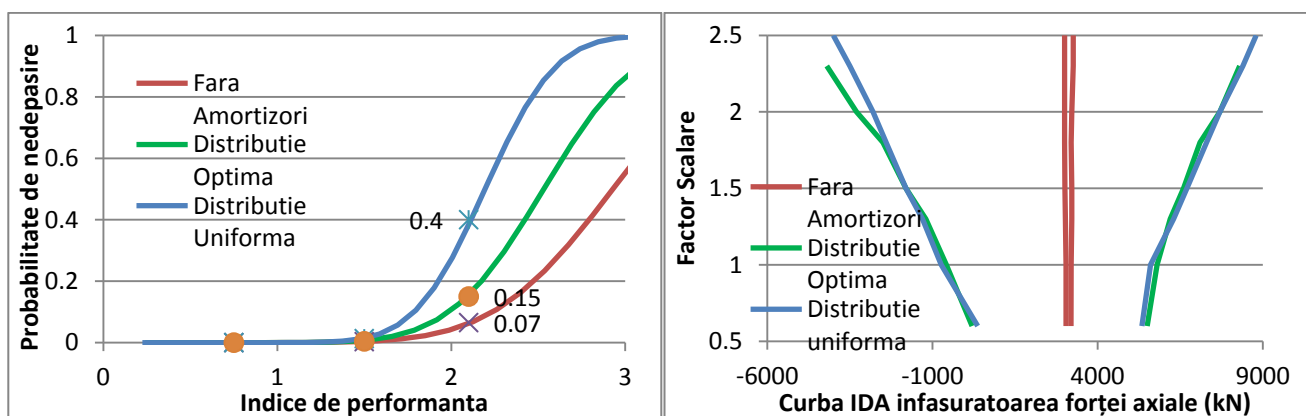
Din Figura 23 se observă scăderea indexului de performanță între modelul fără amortizoare și cel cu amortizoare. Dacă pentru modelul fără amortizoare pentru un IMR de 475 structura este cel mai probabil la nivelul de prevenirea colapsului, pentru modelele cu amortizoare structura se află la nivelul de siguranța vieții. O evaluare și mai precisă a nivelurilor de performanță se realizează considerând funcțiile de densitate a probabilității. Se observă că pentru IMR 475 de ani pentru distribuția optimă și distribuția uniformă există 100%, respectiv 96% șanse ca valoarea indicelui să fie inferioară nivelului de prevenirea colapsului, față de modelul fără amortizoare unde există doar 85% șanse ca structura să respecte nivelul de prevenirea colapsului. Pentru un IMR de 975 de ani diferențele sunt mult mai importante, pentru structura fără amortizoare există 44% șanse ca structura să nu depășească stadiul de prevenirea colapsului față de structurile echipate cu amortizoare pentru care există probabilitatea de 75% pentru structura cu distribuție optimă și 92% pentru structura cu distribuție uniformă de nedepășire a valorii de prevenirea colapsului. Se observă un aspect important, pentru acest tip de clădire datorită faptului că stâlpul adiacent amortizoarelor nu a fost consolidat, cu toate că rezultatele în termeni de deplasări sunt echivalente, modelul cu distribuție optimă produce rezultate inferioare modelului cu distribuție uniformă pentru intervalele de recurență cele mai mari.



(a) (b)  
**Figura 24 Funcții de repartiție pentru a) IMR 475 ani; b) IMR 975**

Acest aspect este cel mai pronunțat în cazul IMR 2475 ani când pentru distribuția uniformă există 40 % șanse sa se încadreze în nivelul de prevenire al colapsului pe când pentru distribuția optimă doar 15%. De altfel modelul cu distribuția optima nu converge numeric pentru cel mai mare factor de scalare considerat 2.5 pentru unele cutremure.

În continuare se studiază impactul introducerii amortizoarelor vâscoase asupra elementelor de legătura. În cazul structurilor prezente se studiază variația forței axiale în stâlpul adiacent amortizorului. Se consideră stâlpul marginal de care este legat amortizorul deoarece efectul indirect în acesta va conduce la rezultate nefavorabile. Forța axială este reprezentată la baza primului nivel. Rezultatele sunt prezentate doar pentru cutremurul real înregistrat. Se observă efectul introducerii amortizoarelor care este cu atât mai evident pentru factorii de scalare superiori, caracterizat prin creșterea forței axiale pana la ducerea stâlpului în zona de întindere. Se observă ca pentru modelul cu distribuție optima studiat convergența numerică nu mai este atinsă în cazul factorului de scalare de 2.5, nivel pentru care nivelul întinderii din stâlp începe să fie semnificativ.



(a) (b)  
**Figura 25 a)Curba IDA pentru înfășurătoarea forței axiale; b)Funcții de repartiție IMR 2475 ani**

În Figura 26 se prezintă evoluția energiei în cele trei modele. Se reprezintă de asemenea variația energiei totale ( $E_t$ ) disipate inelastic ( $E_{in}$ ), prin intermediul articulațiilor plastice din grinzi stâlpi și energia disipata de amortizoarele vâscoase ( $E_{vs}$ ). Este evidentă scăderea energiei inelastice disipată în structură prin introducerea amortizoarelor, o parte din energia disipata inelastic este disipata de amortizoarele vâscoase. Se observă o reducere a energiei introduse în structură prin introducerea amortizoarelor vâscoase.

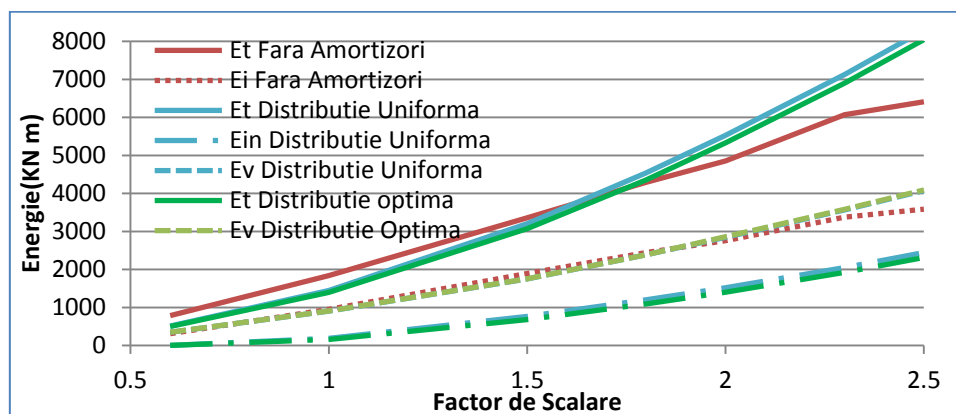


Figura 26 Curba IDA pentru Energia totala , Energia disipata inelastic și Energia disipata de amortizoare

## V.5. Rezultatele analizei considerând interacțiunea teren structura

În acest capitol se determină distribuția optimă pentru o structură de beton armat de 6 etaje, folosind două profile de teren specifice zonei București. Primul profil este specific amplasamentului INCERC iar cel de-al doilea amplasamentului UTCB. Față de distribuția optimă în cazul structurii cu baza fixă unde sunt folosiți doar amortizorii etajelor 2,3,4, apare în algoritmul distribuției optime amortizorul etajului 5 și implicit, se diminuează valoarea constantelor de amortizare a etajelor 2,3,4. Pentru amplasamentul UTCB distribuția optimă a amortizorilor este similară, cu cea de la INCERC, variațiile fiind minime.

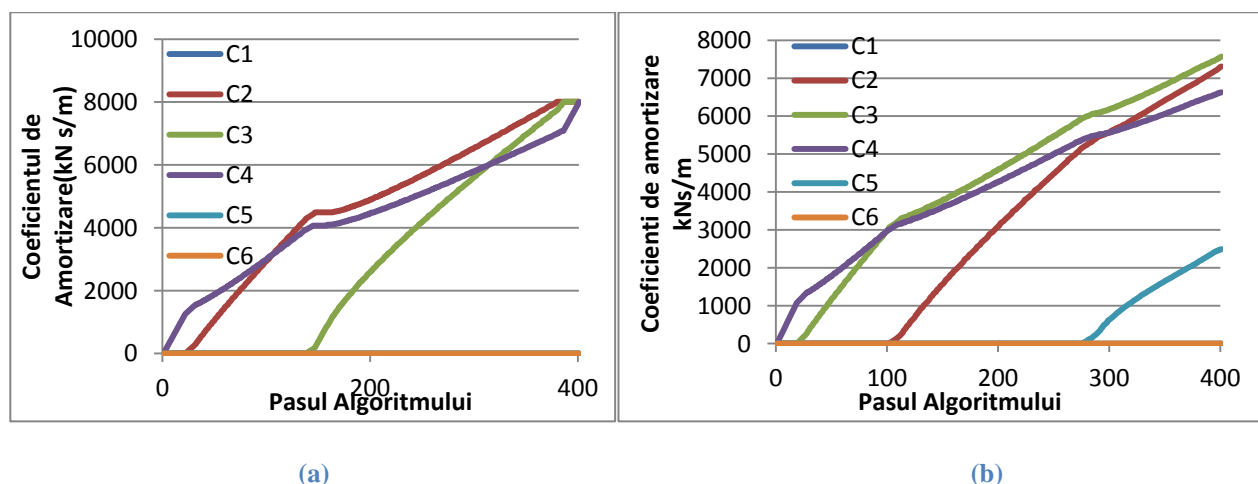


Figura 27 Variația constantelor de amortizare cu pasul algoritmului pentru: a) modelul cu baza fixa b) amplasamentul INCERC



În figurile următoare se prezintă curbele IDA pentru drift pentru cele două profiluri de teren. Și în cazul considerării interacțiunii teren-structură se observă reduceri ale driftului și a nivelului de performanță prin introducerea amortizorilor vâscoși.

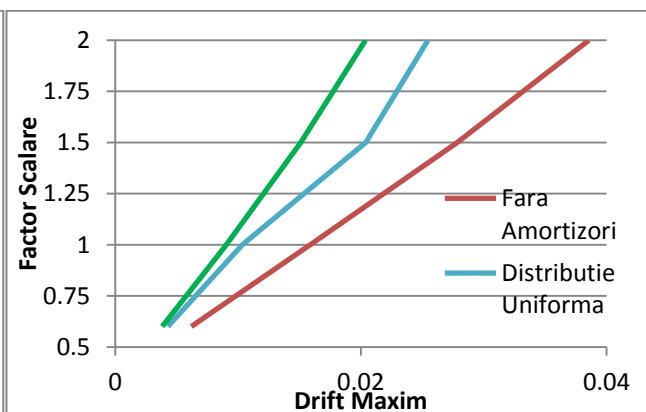
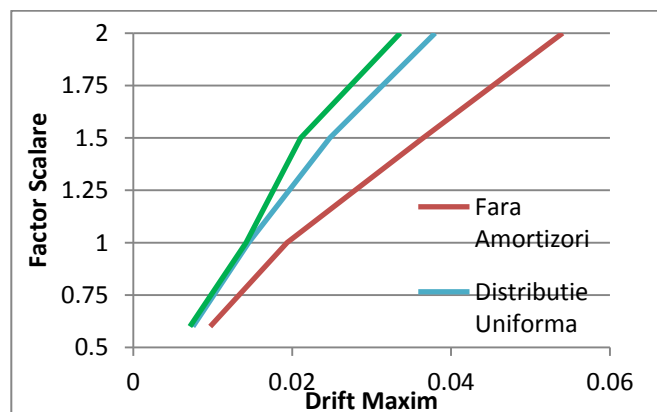


Figura 28 Curba IDA Drift (INCERC)

Figura 29 Curba IDA Drift (UTCB)

Pentru confirmarea celor două distribuții se apelează la o serie de analize dinamice neliniare realizate în programul de calcul cu element finit SAP 2000 v 14.2. Proprietățile inelastice sunt asigurate prin considerarea de articulații plastice la capătul elementelor structurii. Articulațiile plastice sunt de tip moment curbura pentru grinzi. În cazul stâlpilor se ține cont de influența forței axiale. Modelul histeretic selectat este de tip Takeda. Ca și în cazul celorlalte structuri se consideră ca elementele sunt asigurate la forța tăietoare iar nodurile au suficientă armătură pentru a nu avea incursiuni în domeniul plastic. Straturile de teren sunt modelate folosind elemente de arie, liniare. În cazul elementelor de arie din SAP 2000 v 14.2 nu se poate folosi o rigiditate dependentă de deformație și se folosește o rigiditate medie corespunzătoare răspunsului maxim al structurii calculată cu programul EERA. În ceea ce privește amortizarea, se folosește o amortizare diferită pentru fiecare material, care pentru straturile de pământ este determinată tot folosind programul EERA. În figurile următoare se prezintă variația accelerației pentru profilul INCERC și accelerograma 4 martie 1977 și de asemenea cele 9 cicluri în care amortizarea echivalentă se stabilizează, pentru fiecare strat în parte. Pentru a determina acțiunea se apelează din nou la programul EERA. Folosind acest program și amplasamentul INCERC pentru care a fost înregistrată accelerograma 4 martie 1977 se obține mișcarea terenului la roca de baza. Aceasta este folosită pentru ambele amplasamente. În continuare se prezintă rezultatele rotirilor. Este evidentă îmbunătățirea comportării structurii prin introducerea amortizorilor și faptul că structura cu distribuția optimă se comportă mai bine decât structura echipată cu distribuția uniformă.

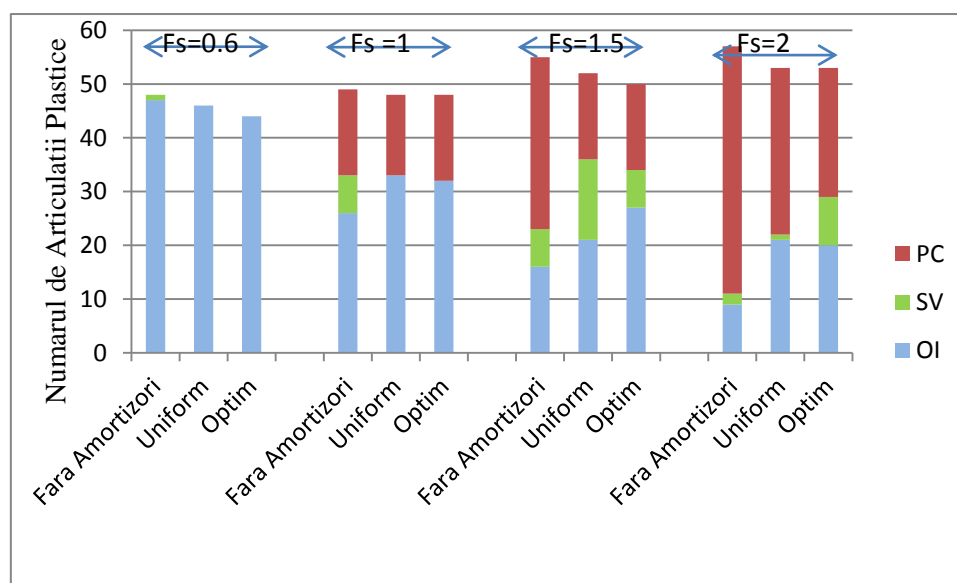


Figura 30 Numărul de articulații plastice și nivelul de performanță corespunzător

## Cap.VI. Concluzii, contribuții și direcții viitoare de studiu

### VI.1. Concluzii

În capitolul anterior au fost prezentate o serie de 6 cadre cu diferite niveluri de înălțime (6,10,15 niveluri) atât din metal cât și din beton armat. Sistemele constructive considerate pentru structurile studiate sunt cadre pure și cadre împreună cu pereți, în cazul structurilor din beton armat, și cadre contravântuite centric în cazul structurilor metalice. Pentru fiecare din aceste structuri s-a dorit introducerea unei distribuții uniforme de amortizoare capabile să dezvolte forțe suficiente de puternice pentru a ajunge la o amortizare echivalentă de aproximativ 25%. Pentru aceeași sumă de coeficienți de amortizare ca în cazul distribuției uniforme, se aplica algoritmul propus pentru a determina amplasarea optimă a amortizoarelor vâscoase în structură, care minimizează suma deplasărilor relative de nivel.

Prin intermediul studiilor numerice se dorește să se afle în ce măsură se pot extrapola rezultatele algoritmului de amplasare optimă a amortizoarelor, algoritmul care presupune comportarea liniară a structurii pentru domeniul de comportare neliniară. Pentru studiile neliniare se apelează la analiza dinamică incrementală și la o serie de cutremure care să surprindă cât mai bine caracterul probabilistic al acțiunii seismice. În acest sens au fost folosite o serie de 7 cutremure, 6 cutremure reale a căror spectru a fost modificat folosind metoda Seismomatch și cutremurul real înregistrat la INCERC 4 martie 1977, scalat la accelerația de proiectare. Pentru fiecare din aceste cutremure se utilizează un număr între 6 și 10 factori de scalare, în funcție de capacitatea structurii și de IMR pentru care structură va fi calculată. În total pentru seria de 6 structuri au fost efectuate aproximativ 1000 de analize dinamice neliniare cu ajutorul programului PERFORM 3D v 5.

## Atenuarea răspunsului seismic prin folosirea amortizoarelor vâscoase

În primul rând se studiază influența amortizoarelor asupra deplasărilor. Acest aspect este considerat cel mai important din punctul de vedere al algoritmului de optim, care are ca scop minimizarea funcției obiectiv, suma deplasărilor relative de nivel.

**Tabelul 4 Deplasările maxime și diferențele de deplasări între modele în funcție de factorul de scară**

Structura	IMR	40	100	475	975	2475	3475	Medie(%)
	Factor Scalare	0.6	1	1.5	1.8	2.3	2.5	
<b>Beton I</b>	F.A.	0.0039	0.008	0.0172	0.0327			
	D.U.(%)	26	30	37	57			37
	D.O.(%)	7	9	7	6	8		7
<b>Beton II</b>	F.A.	0.003	0.005	0.009	0.013	0.019	0.021	
	D.U.(%)	54	51	52	55	56	57	54
	D.O.(%)	7	9	9	9	7	5	8
<b>Beton III</b>	F.A.	0.005	0.007	0.012	0.014	0.020	0.022	
	D.U.(%)	50	43	39	39	41	40	42
	D.O.(%)	2	2	2	1	1	1	1
<b>Metal I</b>	F.A.	0.004	0.008	0.015	0.021			
	D.U.(%)	38	38	42	45			40
	D.O.(%)	7	9	11	13	12	11	10
<b>Metal II</b>	F.A.	0.005	0.008	0.013	0.017			
	D.U.(%)	37	35	36	38			37
	D.O.(%)	3	3	4	4	5	5	4
<b>Metal III</b>	F.A.	0.005	0.009	0.013	0.015	0.020	0.021	
	D.U.(%)	37	32	31	29	29	29	31
	D.O.(%)	7	4	1	0	0	3	2

În Tabelul 4 F.A., D.U., D.O. reprezintă acronime pentru modelul fără amortizoare, modelul echipat cu distribuție uniformă respectiv optimă. Dacă în liniile modelului fără amortizor sunt reprezentate drifturile maxime, în linia corespunzătoare distribuției uniforme se reprezintă scăderea în procente între modelul fără amortizoare și cel cu distribuție uniformă. Pentru alcătuirea tabelului au fost luate în considerare rezultatele medii.

Din tabelul centralizator se observă în primul rând scăderea importantă între modelul fără amortizoare și modelul echipat cu distribuția uniformă de amortizoare. Se observă că pentru nivelul de amortizare echivalentă introdus de amortizoarele vâscoase scăderea în driftul maxim este în medie de 40%.

În ceea ce privește diferența dintre distribuția optimă și cea uniformă aceasta variază în funcție de model. Variația are o legătură cu înălțimea structurii, astfel cu cât structura are mai multe niveluri cu atât diferența dintre distribuția optimă și cea uniformă scade de la 7-10 % la 1-2%. Cu toate că diferențele în deplasări între distribuția optimă și cea uniformă ajung pentru unele structuri să nu fie semnificative (1-5%) trebuie notat că aceste răspunsuri superioare sunt obținute folosind un număr redus de amortizoare (în medie 30%). În concluzie rezultatele în deplasări maxime date de distribuția optimă sunt egale și în general superioare distribuției uniforme.

## Atenuarea răspunsului seismic prin folosirea amortizoarelor vâscoase

Rezultatele superioare obținute în cazul distribuției optime rezulta din faptul ca amortizoarele sunt plasate la nivelurile la care eficienta lor este maximă. În acest sens în Tabelul 5 se prezintă valorile maxime ale forțelor dezvoltate în amortizoare.

**Tabelul 5 Forța Maximă dezvoltată în amortizoare (kN)**

	IMR	40	100	475	975	2475	3475	Diferența Medie(%)
	Factor Scalare	0.6	1	1.5	1.8	2.3	2.5	
<b>Beton I</b>	D.U.	284	475	664	802	1057		
	D.O.	430	669	918	1087	1430		29
<b>Beton II</b>	D.U.	371	669	1053	1274	1540	1628	
	D.O.	646	1191	1825	2202	2672	2883	43
<b>Beton III</b>	D.U.	665	1052	1281	1518	1898	2038	
	D.O.	1338	1953	2541	2966	3566	3827	48
<b>Metal I</b>	D.U.	214	384	626	767	993	1077	
	D.O.	384	655	1055	1273	1602	1738	40
<b>Metal II</b>	D.U.	323	579	871	1066	1378	1506	
	D.O.	505	856	1350	1640	2099	2264	35
<b>Metal III</b>	D.U.	528	764	1020	1222	1570	1719	
	D.O.	884	1211	1847	2264	2970	3246	44

În Tabelul 5 se prezintă forțele maxime dezvoltate în amortizoare pentru cele două distribuții de amortizoare. Valorile prezentate sunt media obținută pentru cutremurele considerate. Se observă ca în toate cazurile distribuția optimă produce rezultate mai mari pentru forța maximă. Forțele dezvoltate în cazul distribuției uniforme sunt cu 30-50 % mai mici decât cele din distribuția optimă, în medie diferența este de 40%.

Faptul ca în cazul distribuției optime forțele din amortizoare sunt superioare reflecta disiparea unei cantități superioare de energie în amortizoare. Aceste forțe însă, pot avea și efecte nedorite deoarece elementele de care amortizorul este legat trebuie să aibă suficientă capacitate de rezistență pentru a nu fi deteriorate de aceste forțe. Situația este cu atât mai complicată cu cât cutremurele de tip Vrancea sunt cutremure de tip puls, care presupun ca energia este concentrată în jurul acestui puls. Acest aspect rezultă în dezvoltarea de forțe mari în cazul folosirii amortizoarelor vâscoase. În acest sens se studiază modul de formare a articulațiilor plastice în structură și nivelul de performanță al structurii.

În Tabelul 6 se prezintă indicii de performanță. Indicii de performanță este o măsură a nivelului de performanță și ține seama de toate articulațiile plastice formate în structură și de stadiul în care se află acestea. Pragurile pentru nivelurile de performanță au fost stabilite pentru fiecare structură în parte ținând cont de tipul articulațiilor plastice și de eventualele mecanisme de plastificare. De asemenea se consideră ca pentru rezultatele superioare limitei de prevenire a colapsului (moment în care circa 25% din articulațiile formate sunt mai mari decât stadiul de prevenire a colapsului) clădirea se consideră colapsată. Se observă ca pentru toate cazurile există o îmbunătățire a comportării structurii pentru modelele în care se introduc amortizoarele, atât pentru distribuția optimă cât și pentru cea uniformă. În

## Atenuarea răspunsului seismic prin folosirea amortizoarelor vâscoase

cea ce privește diferențele între distribuția optimă și cea uniformă se observă ca în toate cazurile mai puțin clădirea Metal III rezultatele pentru distribuția optimă sunt mai bune sau cel puțin similare cu distribuția optimă.

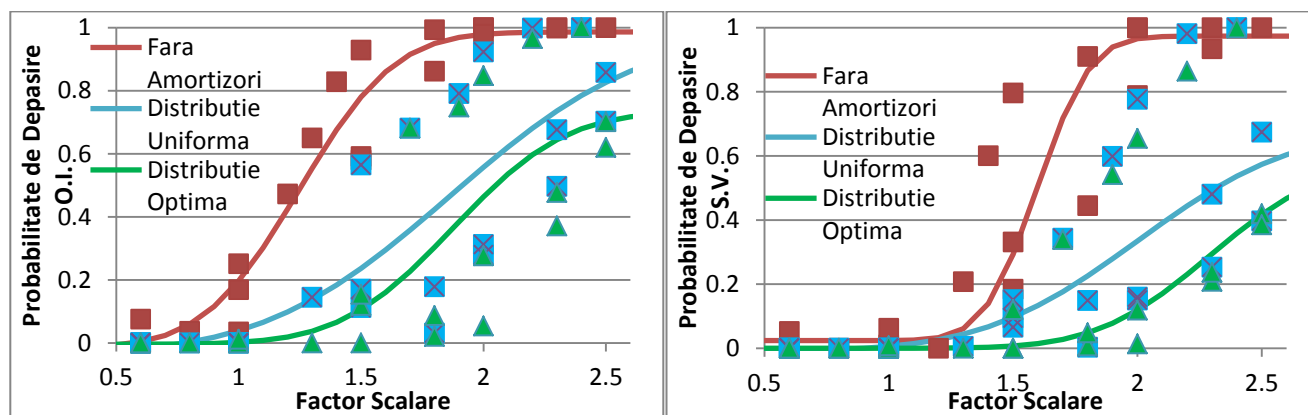
În ceea ce privește impactul amortizoarelor asupra elementelor de legătură trebuie menționat ca pentru structurile de 6 niveluri ambele cu o amortizare suplimentară de 25% introdusă de amortizoare forțele dezvoltate de amortizoare nu conduc la formarea de articulații plastice suplimentare.

**Tablul 6 Indice și nivelul de performanță pentru toate structurile și diferite IMR**

Structura	IMR	40	100	475	975	2475	3475	Nivel de performanță
	Factor Scalare	0.6	1	1.5	1.8	2.3	2.5	
Beton I	F.A.	0.00	0.42	1.57	2.24			0.75
	D.U.(%)	0.00	0.00	0.78	1.10	2.13		1
	D.O.(%)	0.00	0.00	0.66	1.05	1.84		2.1
Beton II (Consolidata)	F.A.	0.00	0.28	0.90	1.42	2.25	2.59	0.75
	D.U.(%)	0.00	0.00	0.16	0.42	1.11	1.35	1
	D.O.(%)	0.00	0.00	0.03	0.22	0.71	1.01	2.1
Beton III (Consolidata)	F.A.	0.06	0.40	0.83	1.11			0.75
	D.U.(%)	0.00	0.00	0.16	0.21	0.86	1.09	1.1
	D.O.(%)	0.00	0.01	0.17	0.20	0.84	1.06	1.5
Metal I	F.A.	0.26	0.46	1.32	2.13			0.75
	D.U.(%)	0.00	0.33	0.47	0.75	1.63	1.95	1.4
	D.O.(%)	0.00	0.29	0.47	0.60	1.47	1.79	2
Metal II	F.A.	0.63	0.88	2.05	2.51			0.75
	D.U.(%)	0.41	0.61	0.91	1.40	2.05	2.34	1.1
	D.O.(%)	0.38	0.64	0.98	1.34	2.06	2.26	2.1
Metal III	F.A.	0.80	1.07	1.87	2.16	2.93	3.21	0.75
	D.U.(%)	0.77	0.92	1.29	1.61	2.19	2.39	1.5
	D.O.(%)	0.73	0.93	1.44	1.87	2.53	2.70	2.1
Legenda	Ocupare Imediata							
	Siguranța Vieții							
	Prevenirea Colapsului							
	Colaps							

În ceea ce privește structurile de 10 respectiv 15 niveluri, atât în cazul structurilor metalice cât și cel al structurilor de beton se evidențiază nevoia de consolidare a stâlpilor care formează portalul în care este amplasat amortizorul. În cazul structurilor de beton armat de 10 și 15 niveluri prin introducerea amortizoarelor în stâlpul adiacent apar eforturi de întindere care suprapuse peste acțiunea din efect indirect conduc la rotiri importante pentru stâlpul adiacent care conduc la colapsul structurii. Practic

pentru structurile din beton armat de 10 și 15 etaje soluția de reabilitare cu amortizoare presupune implicit și reabilitarea stâlpului adiacent. Același lucru se întâmplă și pentru structurile metalice. Este

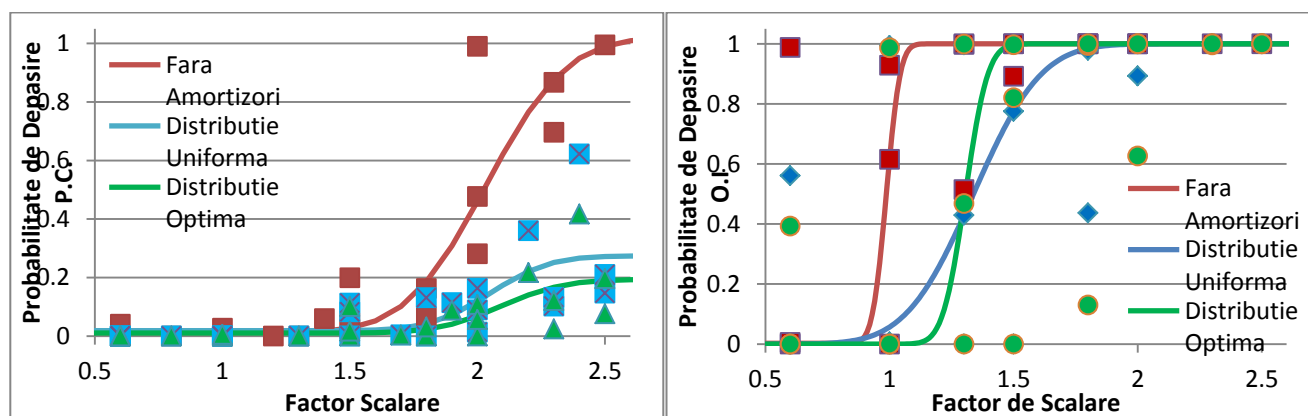


(a)

(b)

Figura 31 Curbe de fragilitate pentru structurile din beton armat nivelul de performanta de: a) O.I. b) S.V.

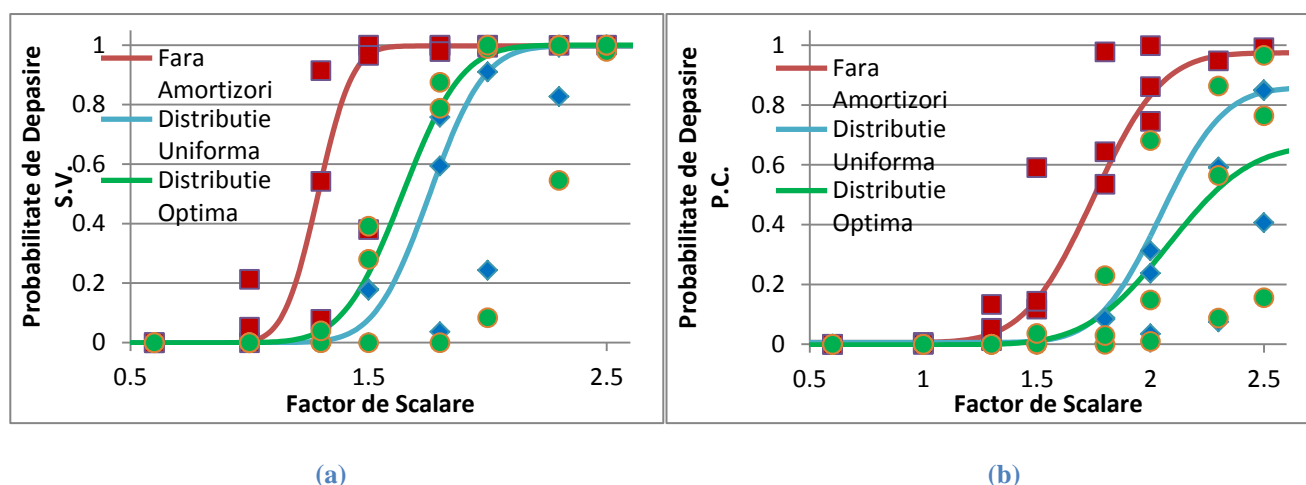
foarte interesant cazul structurii metalice de 15 niveluri. Pentru aceasta structură stâlpii adiacenți amortizoarelor au, pentru intervalul mediu de recurență de 475 de ani, rezistență suficientă pentru a prelua eforturile suplimentare din amortizoare și a produce reduceri ale nivelului de performanta față de structură fără amortizoare. Pentru IMRuri mai mari însă structură echipata cu distribuția optimă se comporta mai prost decât cea echipata cu distribuția uniformă. Acest lucru se explica prin forțele suplimentare introduse în cazul distribuției optime de amortizoare. Dacă la IMR de 40 de ani distribuția optimă produce cele mai bune rezultate, fiind singura care poate duce structură în nivelul de ocupare imediata, pentru IMR mai mare 100 de ani distribuția optimă produce rezultate inferioare. Pentru a reprezenta influenta introducerii amortizoarelor în structurile studiate se calculează și curbele de fragilitate. Curbele de fragilitate prezintă probabilitatea de depășire a unei mărimi de răspuns, în cazul de față indicele de performanta, a mai multor clădiri cu structuri similare pentru diferite niveluri ale hazardului seismic. In cazul studiului prezentat, nivelul hazardului este reprezentat de factorul de scalare.



(a)

(b)

Figura 32 Curbe de fragilitate: a) pentru structurile de beton armat nivelul de prevenire a colapsului; b) pentru structurile metalice nivelul de ocupare imediata



**Figura 33** Curbe de fragilitate pentru structurile metalice nivelul de performanța: a) siguranța vieții; b) prevenirea colapsului

Pentru a realiza curbele de fragilitate s-a calculat pentru fiecare factor de scalare probabilitatea de depășire pentru fiecare nivel de performanță. În Figura 31 a,b și Figura 32 b se prezintă curbele de fragilitate pentru structurile din beton armat, iar în Figura 32 b. și Figura 33 a și b pentru cele metalice. În ceea ce privește structurile din beton armat se observă că introducerea amortizoarelor produce reduceri în probabilitatea de depășire pentru toate nivelurile hazardului. De asemenea este clară utilitatea algoritmului de distribuție optimă, pentru un IMR 475 de ani structura cu distribuția uniformă de amortizoare are 24% șanse de depășire pentru nivelul de O.I. pe când structura cu distribuția optimă are doar 12% șanse de depășire.

În ceea ce privește structurile metalice, rezultatele indică de asemenea îmbunătățirea răspunsului seismic în cazul introducerii amortizoarelor. Față de structurile din beton armat pentru structurile metalice diferențele între distribuția optimă și cea uniformă nu sunt la fel de pronunțate. Pentru nivelul de O.I. și factori de scară mai mici decât 1.3 distribuția optimă este superioară celei uniforme, pe când pentru factori de scară mai mari distribuția uniformă produce rezultate superioare. Pentru nivelul de performanță de S.V. distribuția uniformă produce rezultate mai bune decât distribuția optimă. Pentru nivelul de performanță de P.C. rezultatele sunt similare pentru factori de scară mai mici de 1.8. Pentru factori de scară superiori distribuția optimă produce rezultate superioare. Faptul că distribuția optimă nu produce rezultate superioare este influențat pentru structurile metalice de datele obținute pentru structură metalică de 15 etaje, pentru care comportarea în cazul distribuției optime este influențată de lipsa de capacitate a elementelor adiacente amortizoarelor.

În concluzie, în ceea ce privește posibilitatea de a folosi amortizoare pentru reabilitarea seismică a structurii concluziile sunt că pentru construcții cu regim scăzut de înălțime folosind amortizoare se poate obține o consolidare cu intervenții minime asupra structurii de rezistență existente. În cazul construcțiilor cu regim de înălțime mai important când masele structurii sunt mult mai importante trebuie să se dea o atenție sporită elementelor de care amortizoarele sunt legate și cel mai probabil acestea vor avea nevoie de o consolidare suplimentară. Chiar și în aceste condiții datorită nivelului scăzut de intervenții reabilitările cu amortizoare vâscoase liniare pot fi considerate viabile și pentru aceste clădiri. De asemenea este foarte important de menționat că aceste amortizoare au fost

dimensionate pentru o amortizare echivalentă de 25%. Pentru valori inferioare ale amortizării echivalente, forțele din amortizoare nu vor fi la fel de mari.

Concluzii:

1. În toate cazurile introducerea amortizorilor îmbunătățește răspunsul structurii în medie cu 40%.
2. În toate cazurile studiate distribuția optimă produce rezultate superioare din punct de vedere al deplasărilor (1-8%) folosind un număr cu circa 30% mai mic de amortizori
3. În toate cazurile forțele dezvoltate în amortizori sunt mai mari în cazul distribuției optime.
4. Diferențele între distribuția uniformă și cea optimă scad odată cu creșterea nivelului de înălțime. Acest fapt se datorează cel mai probabil modelului condensat folosit în algoritmul de plasare optimă.
5. Pentru clădirile de 10 respectiv 15 etaje, pentru a ajunge la o amortizare echivalentă în jurul valorii 30%, corespunzătoare cazurilor studiate este necesară consolidarea stâlpilor adiacenți amortizorilor.

### VI.2. Contribuții personale

---

Studiul de față a fost efectuat pentru a investiga efectul introducerii amortizoarelor vâscoase în structura. În acest sens contribuțiile aduse în domeniu sunt următoarele:

1. **Testarea metodelor de generare a accelerogramelor și generarea unui set de accelerograme** compatibile din punct de vedere al deplasărilor și al energiei induse în structura, cutremurului înregistrat. În acest sens au fost testate 6 metode, de modificare sau generare a accelerogramelor.
2. **Testarea unei metode de calcul a distribuției optime pentru o serie de construcții uzuale.** În acest sens a fost propusă metodă dezvoltată de Takewaki pentru domeniul liniar.
3. **Realizarea unui studiu neliniar pe o serie de clădiri reprezentative pentru cutremure de tip puls.** Acest studiu, realizat pentru condițiile particulare ale cutremurelor de tip Vrancea conduce la următoarele concluzii:
  - a. Introducerea amortizoarelor vâscoase în structură are un efect benefic asupra reducerii răspunsului seismic. Pentru toate structurile studiate montarea amortizoarelor a produs scăderi ale răspunsului în drifturi și rotiri ale elementelor structurale.
  - b. Algoritmul de optimizare produce rezultate mulțumitoare pentru studiul efectuat. Aplicarea distribuției optime a condus de fiecare dată la o reducere a numărului de amortizoare folosite (în medie 30%) și în același timp un răspuns cel mult egal și în cele mai multe cazuri superior (5-10%) unei distribuții uniforme. În toate cazurile studiate forțele maxime dezvoltate în amortizoare sunt mai mari în cazul distribuției optime, fapt care se traduce într-un nivel superior de disipare a energiei.
  - c. În cazul clădirilor de 10 și 15 niveluri este necesară o consolidare a elementelor adiacente amortizoarelor. Pentru studiile efectuate atât pentru cădirile metalice cât și pentru cele din beton armat, pentru a ajunge la un nivel considerabil de amortizare echivalentă (25%) dată de amortizoarele vâscoase este necesară consolidarea elementelor adiacente amortizoarelor.
4. **Realizarea aceluiași studiu menționat la punctul 2, considerând interacțiunea teren structură** pentru condițiile specifice din România. În acest sens a fost realizată o serie de analize pentru două profile de teren caracteristice zonei București pentru care a fost luată în calcul interacțiunea teren structură. Acest studiu este foarte util în condițiile de teren din București care pot conduce la o amplificare importantă a mișcării.



## VI.3. Direcții viitoare de cercetare

---

Studiul efectuat este unul cuprinzător. Cu toate acestea există zone în care studiul poate fi completat și dezvoltat.

1. Folosirea unui model îmbunătățit în algoritmul de amplasare optimă. Un model îmbunătățit poate modela mai bine comportarea structurilor înalte și în special a structurilor cu pereți;
2. Considerarea efectelor forței tăietoare asupra articulațiilor plastice și considerarea posibilității avarierii nodurilor structurii;
3. Studiarea impactului amortizorilor vâscoși neliniari asupra răspunsului structurii;
4. Îmbunătățirea modelului de calcul dinamic neliniar pentru modelul care ia în calcul interacțiunea teren-structură. Astfel trebuie dezvoltat un model care să poată ține cont de degradarea straturilor de teren sub acțiunea forțelor seismice.

## Bibliografie Selectiva

---

- [1] Rodrigo M., Romero M., "An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear viscous dampers for seismic applications," *Engineering Structures* 25, pp. 913-925, 2003.
- [2] Takewaki I., *Building Control with Passive Dampers, Optimal Performance Based Design for Earthquakes*. Kyoto: Jon Wiley & Sons (Asia), 2009.
- [3] Pricopie A.Gh., Cretu D., "Rehabilitation of Existing Structures by Optimal Placement of Viscous Dampers," in *Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering*, Vienna, 2012, p. in curs de publicare.
- [4] Pricopie A.Gh., Cretu D., "Rehabilitation of Existing Structures using Optimal Viscous Damper Placement in the Seismic and Soil Conditions of Romania," in *15 World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, 2012, p. in curs de publicare.
- [5] Soong T.T., Dargush G.F., *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1997.
- [6] Pekcan G., Chen S.S., Mander J.B., "The Seismic Response of a 1:3 Scale Model R.C. Structure with Elastomeric Spring Dampers," *Earthquake Spectra* 11, pp. 249-267, 1995.
- [7] Reinhorn A.M., Li C., Constantinou M.C., "Report NCEER-95-0001: Experimental and Analytical Investigation of Seismic Retrofit of Structures with Supplemental Damping Part I: Fluid Viscous Damping Devices," Buffalo, 1995.
- [8] A.Haiducu, "Reducerea efectului acțiunii seismice la structurile de poduri prin procedeul de izolare la nivelul de rezemare," UTCB, București, Teza Doctorat 2012.
- [9] ASCE FEMA 356, "NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings," Washington D.C., 1997.

- [10] Dubina D. Lungu D., *Constructii amplasate in zone cu miscari seismice puternice*. Timisoara: Editura Orizonturi Universale, 2003.
- [11] Gasparini D.A. Vanmarcke E.H., "Report 2 Simulated Earthquake Motions Compatible with Prescribed Response Spectra," Cambridge, 1976.
- [12] PEER GSM, "Evaluation of Ground Motion Selection and Modification Methods: Predicting Median Interstorey Drift Response of Buildings," Chico, California, 2009.
- [13] Naumoski N., "Program SYNTH: Generation of Artificial Accelerograms Compatible with Target Spectrum," 1998.
- [14] Seismosoft, SeismoMatch v 1.3.0, 2011.
- [15] Schnabel P.B., Seed H.B., Lysmer J. "A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits," Berkley, 1972.
- [16] Kuhlemeyer R.L., Lysmer J., "Finite Dynamic Model for Infinite Media," *Journal of the Engineering Mechanics Division*, pp. 859-877, 1969.
- [17] Powell G. H., "User Guide Perform-3D," Berkley, 2011.
- [18] Cornell C.A., Vamvatsikos D., "Incremental Dynamic Analysis," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, pp. 31(3):491-514, 2002.
- [19] Constantinou M.C., Soong T.T., "Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering," Buffalo, 1994.
- [20] Chopra A., *Dynamics of Structures Theory and Application to Earthquake Engineering*. Berkley: Prentice-Hall, 1995.
- [21] PEER. (2012) PEER GROUND MOTION DATABASE. [Online]. HYPERLINK  
"http://peer.berkeley.edu/peer\_ground\_motion\_database/"  
[http://peer.berkeley.edu/peer\\_ground\\_motion\\_database/](http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database/)
- [22] Kelly T., *In-Structure Damping and Energy Dissipation*. Wellington: Holmes Consulting Group, 2001.
- [23] Vezeanu G. Pricopie A. Gh., "Design Considerations for Buildings with Nonlinear Viscous Dampers," *Mathematical Modeling*, pp. 296-304, 2010.